# ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1902 г. ТОМЪ 3 No. 3


## Основныя положенія динамики


Г. К. Суслова.


Вопросъ о характерѣ и сущности основныхъ аксіомъ динамики въ ближайшее время занималъ собою умы первоклассныхъ ученыхъ: Герцъ [1]), Пуанкаре [2]), Больцманъ [3]), Ф. Клейнъ [4]), Фёпль [5]) и многіе другіе, такъ или иначе высказывались по этому поводу. Система динамики, 200 лѣтъ тому назадъ предложенная безсмертнымъ Ньютономъ, неоднократно подвергалась критикѣ, въ особенности со времени выхода въ свѣтъ „Principien" Герца. Для исправленія кажущихся недостатковъ ньютоніанской схемы предлагались самые разнообразные пріемы по вкусу того или другого критика [6]). При первомъ поверхностномъ взглядѣ на дѣло указанная разноголосица производитъ такое впечатлѣніе, какъ будто только отъ личнаго произвола автора зависитъ какъ порядокъ изложенія, такъ и составъ основныхъ аксіомъ въ динамикѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ естественно возникаетъ вопросъ, которая же изъ многочисленныхъ предлагаемыхъ динамическихъ

[1]) *H. Hertz*, Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt. [2]) *H. Poincaré*, Revue de Métaphysique et de Morale № 5. 1900. [3]) *L. Boltzmann*, Vorlesungen über die Principe der Mechanik. [4]) *F. Klein*, Ueber die Theorie des Kreisels, Kap. II. [5]) *A. Föppl*, Vorlesungen über technische Mechanik. [6]) Кромѣ перечисленныхъ выше сочиненій см. напр. еще *Budde*, Allgemeine Mechanik d. Puncte u. starr. Syst., а также *В. П. Ермаковъ* „Основные законы Механики" (Проток. Кіевскаго мат. общ. за 1900 г.).

схемъ удовлетворяетъ своей цѣли, или, быть можетъ, ни одна изъ нихъ не годится, и слѣд. все величественное зданіе динамики, надъ которымъ работали Галилей, Ньютонъ, Лагранжъ, Якоби, оказывается построенныхъ на пескѣ, и въ лучшемъ случаѣ механика не представляетъ собою отдѣльной, самостоятельной дисциплины, а служитъ только сборникомъ болѣе или менѣе остроумно рѣшенныхъ математическихъ задачъ. Вопросъ этотъ существенно важенъ и притомъ не только съ педагогической или, такъ сказать, прикладной стороны дѣла, но и съ чисто теоретической, научной точки зрѣнія, такъ какъ существованіе самопротиворѣчій въ основныхъ положеніяхъ динамики лишало бы эту дисциплину всякаго научнаго значенія.

Критическій разборъ хотя бы главныхъ изъ новоизобрѣтенныхъ системъ механики, даже, если касаться только ихъ отношенія къ Ньютону, увлекъ бы насъ очень далеко [1]; въ настоящемъ этюдѣ, оставивъ критику въ сторонѣ, мы ограничимся разборомъ и раскрытіемъ содержанія трехъ основныхъ ньютоновыхъ законовъ, при чемъ особенно остановимся на послѣднемъ, третьемъ законѣ, такъ какъ смыслъ и значеніе его, по моему мнѣнію, ускользаютъ отъ вниманія большинства авторовъ. Между прочимъ я коснусь и вопроса о множественности механическихъ схемъ, а также хотя нѣсколько отмѣчу, что̀ при построеніи подобныхъ схемъ подлежитъ произволу и что̀ неизмѣнно приковано цѣпью умозаключеній къ избранной точкѣ отправленія.

1. Въ настоящее время въ общей системѣ наукъ мы имѣемъ нѣсколько прочно установленныхъ схемъ, въ смыслѣ и значеніи которыхъ едва-ли кто сомнѣвается—это схемы *математическая, геометрическая* и *кинематическая*. По характеру понятій, изъ коихъ развиваются перечисленныя схемы, условимся называть ихъ *апріорными*. Такимъ названіемъ, не вдаваясь въ область теоріи познанія и психологіи, мы хотимъ только рѣзко отмѣтить, что ни одна изъ названныхъ схемъ не покоится на данныхъ опыта, а что, наоборотъ, никакое наблюденіе, никакой опытъ не мыслимы безъ допущенія о предварительномъ существованіи въ разумѣ упомянутыхъ схемъ. Въ основу математики положено

---

[1]) См. напр. мою статью „Механика Герца" (Кіев. Унив. Изв. 1898), а также статью проф. *Н. Н. Шиллера* „По поводу видоизмѣненія законовъ Ньютона, предложеннаго В. П. Ермаковымъ" (тамъ же, 1901).

понятіе о величинѣ; въ геометріи сюда присоединяется понятіе о трехмѣрномъ пространствѣ; въ кинематикѣ къ первымъ двумъ понятіямъ прибавлено еще третье--понятіе о времени.

Само собою разумѣется, что рядомъ съ каждою изъ вышеназванныхъ схемъ имѣютъ логическое право на существованіе и безчисленное множество другихъ. Такъ напр. вмѣсто того, чтобы построить кинематику на понятіяхъ о величинѣ, пространствѣ и времени, мы могли бы положить въ основаніе этой науки три другихъ *равносильныхъ* понятія о величинѣ, пространствѣ и скорости. Въ первоначальной кинематикѣ послѣднее понятіе—скорость—было сложнымъ, производнымъ изъ трехъ первоначальныхъ: скорость это отношеніе длины къ соотвѣтственному времени; въ измѣненной кинематикѣ, наоборотъ, понятіе „время" будетъ уже производнымъ изъ понятій—скорость, величина и пространство: время будетъ отношеніемъ длины къ соотвѣтственной скорости. Конечно, время можно было бы замѣнить не только скоростью, но и любымъ другимъ понятіемъ, зависящимъ отъ времени, напр. ускореніемъ, секторіальною скоростью и т. п. Вновь полученныя кинематики были бы вполнѣ правильны; правда, по необычности своей онѣ казались бы намъ неудобными, но это дѣло только привычки. Замѣтимъ, что число основныхъ понятій во всѣхъ этихъ кинематикахъ было бы *одно и тоже*. Такая кинематика, въ которой независимыхъ первоначальныхъ понятій было бы не три, а больше, напр. если бы за независимыя понятія были взяты величина, пространство, время и скорость, неизбѣжно пришла бы къ самопротиворѣчіямъ и только тогда дала бы справедливые выводы, если бы откуда-нибудь была установлена между понятіями скорость и время та связь, въ какой эти понятія находятся на самомъ дѣлѣ. Объ уменьшеніи числа основныхъ кинематическихъ понятій, конечно, и говорить нечего, такъ какъ тогда мы вернулись бы къ геометріи, къ чистой математикѣ или пришли бы къ новой наукѣ, но только не къ кинематикѣ.

2. Схема динамическая составлена по образцу предыдущихъ; она также апріорная въ нашемъ смыслѣ, т. е. не выводится изъ опытныхъ данныхъ, а, наоборотъ, предшествуетъ ихъ оцѣнкѣ. Для построенія динамики къ тремъ указаннымъ выше понятіямъ о величинѣ, пространствѣ и времени необходимо присоединить еще одно независимое понятіе. Въ ньютоніанской схемѣ, о которой мы желаемъ говорить, за новое основное понятіе

взято понятіе о тѣлѣ или о массѣ [1]). Изъ четырехъ основныхъ понятій о величинѣ, пространствѣ, времени и массѣ Ньютонъ—съ помощью своихъ трехъ законовъ—выводитъ производное понятіе о силѣ и уже отсюда развиваетъ всю остальную динамику. Едва ли стоитъ говорить, что въ динамикѣ нельзя обойтись безъ новаго основнаго понятія, *независимаго* отъ остальныхъ трехъ; иначе оказалось бы, что динамика поглощается кинематикою. Точно также, наоборотъ, было бы вполнѣ неправильно увеличить число первоначальныхъ понятій и ввести одновременно, скажемъ, два новыхъ независимыхъ понятія, напр. массу и силу; тогда дѣйствительно, для исправленія допущенной ошибки придется откуда-нибудь достать желаемую связь между якобы независимыми понятіями, для чего обыкновенно и прибѣгаютъ къ наблюденію и опыту, чѣмъ ложно лишаютъ динамику ея апріорности.

Съ ньютоніанскою динамикою логически равноправны и многія другія динамики, въ которыхъ понятіе „масса" замѣнено какимъ-либо другимъ ему равносильнымъ, напр. понятіемъ о силѣ (лейбниціанская схема), объ энергіи (схема энергетическая, отчасти герцевская) и т. п. Само собою разумѣется, въ каждой изъ этихъ динамикъ масса уже должна получиться, какъ понятіе производное изъ первоначальныхъ съ помощью понятій о величинѣ, времени и пространствѣ.

Точно также нѣтъ никакой необходимости вводить непремѣнно вспомогательное понятіе о силѣ, какъ это сдѣлалъ Ньютонъ. Сила можетъ быть замѣнена чѣмъ-либо другимъ, устанавливающимъ зависимость между движеніями различныхъ тѣлъ. Примѣръ такой замѣны мы имѣемъ въ механикѣ Герца. Безъ идеи о силѣ или о чемъ-либо подобномъ обойтись нельзя, такъ какъ цѣлью динамики служитъ систематизація обстоятельствъ, вліяющихъ на движеніе тѣлъ. Замѣтимъ, между прочимъ, что самое измѣреніе массъ невозможно выполнить безъ этого вспомогательнаго понятія о силѣ или о чемъ другомъ, подобно тому, какъ въ геометріи нельзя измѣрять объемы, не вводя вспомогательнаго понятія о прямой линіи.

3. Прежде, чѣмъ приступить къ изложенію ньютоніанской схемы, остановимся нѣсколько на основныхъ кинематическихъ

[1]) Гносеологическое значеніе понятія „масса" подробно раскрыто проф. *П. Н. Шиллеромъ* въ его трудѣ „Значеніе понятій о силѣ и о массѣ въ теоріи познанія и въ механикѣ" (Кіев. Унив. Изв. 1898).

понятіяхъ. Объектомъ въ кинематикѣ служатъ геометрическіе образы — точка, линія, поверхность, тѣло. Мы говоримъ, что объектъ $A$ *движется* относительно объекта $B$, если положеніе $A$ относительно $B$ мѣняется во времени, т. е. если разстояніе хотя одной точки, принадлежащей $A$, отъ какой-либо точки объекта $B$ не остается постояннымъ во времени. Такимъ образомъ изъ самаго опредѣленія вытекаетъ, что о движеніи можно говорить лишь при наличности по крайней мѣрѣ *двухъ* объектовъ, — одного ($A$), который движется, и другого ($B$), къ которому мы относимъ движеніе. Но, если объектъ $A$ движется относительно $B$, то на томъ же основаніи мы имѣемъ право сказать, что и $B$ движется относительно $A$; такимъ образомъ всякое движеніе неизбѣжно сопровождается другимъ, такъ называемымъ обращеннымъ движеніемъ. Дѣло усложнится, когда въ нашемъ распоряженіи не два, а болѣе, напримѣръ, $n$ объектовъ; тогда мы имѣемъ передъ собою и $n$ движеній: каждая группа изъ $n-1$ объектовъ движется относительно одного, не вошедшаго въ группу. За объектъ неподвижный, т. е. тотъ, къ которому относится движеніе, обыкновенно принимаютъ комбинацію трехъ взаимно перпендикулярныхъ прямыхъ, выходящихъ изъ одной точки (оси декартовыхъ координатъ). Итакъ по самому существу дѣла движеніе всегда имѣетъ *множественный* (по крайней мѣрѣ, двойственный) характеръ.

4. Причины, обусловливающія собою разнообразіе въ движеніяхъ тѣлъ, Ньютонъ называетъ силами и вводитъ ихъ въ разсмотрѣніе съ помощью трехъ условій или опредѣленій, извѣстныхъ подъ именемъ аксіомъ или законовъ движенія (axiomata sive leges motus).

Первый законъ, называемый закономъ инерціи, указываетъ на признакъ, по которому можно судить, находится-ли данная масса подъ дѣйствіемъ силы или нѣтъ. Когда сила дѣйствуетъ на тѣло, принято говорить, что сила приложена къ тѣлу. Масса можетъ совершать движенія самыхъ разнообразныхъ типовъ; простѣйшимъ изъ этихъ типовъ служитъ, безспорно, равномѣрное и прямолинейное движеніе, въ частномъ случаѣ покой массы. Ньютонъ принимаетъ, условливается, что такого рода простѣйшее движеніе тѣло совершаетъ само по себѣ (по инерціи) безъ дѣйствія на него силъ. Но равномѣрное и прямолинейное движеніе характеризуется постоянствомъ скорости, какъ вектора (т. е. по величинѣ и по направленію); отсюда вытекаетъ, что

измѣненіе скорости во времени, т. е. существованіе ускоренія и будетъ признакомъ дѣйствія силы на тѣло. Короче законъ инерціи можно формулировать такъ: *гдѣ масса и ускореніе, тамъ и сила.*

Итакъ въ первомъ законѣ Ньютона мы условливаемся принимать ускореніе массы за признакъ силы. Ничто не мѣшало бы намъ взять за такой признакъ что-либо другое, напр. скорость массы или ея ускореніе второго порядка. Конечно, въ томъ и другомъ случаѣ динамическая схема существенно измѣнилась бы; такъ напр. въ первомъ случаѣ тѣло по инерціи могло бы быть только въ покоѣ и даже равномѣрное прямолинейное движеніе совершалось бы подъ дѣйствіемъ силъ; наоборотъ во второмъ случаѣ и равномѣрнопеременное прямолинейное движеніе вошло бы въ группу движеній по инерціи.

Мнѣніе о томъ, что законъ инерціи опытный, что это великая истина природы, угаданная человѣкомъ изъ наблюденій, только тогда имѣло бы основаніе, когда мы могли бы судить о силѣ непосредственно, т. е. когда тѣло, къ которому приложена сила, давало бы намъ знать объ этомъ чѣмъ-нибудь инымъ, кромѣ измѣненія своего положенія или формы. Въ такомъ случаѣ дѣйствительно являлась бы возможность для опытнаго изслѣдованія дѣйствій силъ на тѣло. Въ настоящемъ же случаѣ подобное опытное изслѣдованіе является такимъ же логическимъ абсурдомъ, какъ если бы кто вздумалъ напр. натягивая нить, опытомъ доказывать, что въ евклидовскомъ пространствѣ между двумя точками можно провести только одну прямую линію; вѣдь не изъ свойствъ натянутой нити выводятся признаки прямой, а, наоборотъ, натянутая нить называется прямою потому, что имѣетъ всѣ признаки, которые нами приписаны прямой линіи.

5. Второй законъ Ньютона даетъ возможность выразить силу числомъ: съ одной стороны мы условливаемся, что по численной величинѣ сила пропорціональна (при частномъ выборѣ единицъ равна) произведенію изъ массы на ускореніе; съ другой стороны, замѣчая, что ускореніе, эффектъ дѣйствія силы на массу, количество векторіальное, мы переносимъ эту векторіальность и на силу, приписывая силѣ направленіе ускоренія. Едва ли нужно повторять, что сдѣланныя нами условія вполнѣ произвольны и по желанію могли бы быть замѣнены любыми другими, напр. можно было бы принять, что сила прямо пропорціональна кубу массы и корню квадратному изъ ускоренія. Точно также

можно было бы, напр., приписать силѣ направленіе, не совпадающее съ ускореніемъ, а прямо противоположное.

6. Ускореніе, какъ векторъ, подчиняется всѣмъ операціямъ, совершаемымъ надъ векторами. Но любой векторъ можно разсматривать, какъ геометрическую сумму нѣсколькихъ другихъ векторовъ; поэтому условились говорить, что данная точка имѣетъ одновременно нѣсколько ускореній, если только эти ускоренія въ геометрической суммѣ даютъ векторъ-ускореніе точки. Законъ параллелограмма, входящій въ составъ второго закона Ньютона, переноситъ высказанное выше условіе на силы; формулируется этотъ законъ такъ: если масса движется съ ускореніемъ, то можно безразлично сказать, что къ ней приложена одна сила или нѣсколько силъ, если только эти послѣднія въ геометрической суммѣ даютъ первую силу.

Параллелограммъ силъ, какъ произвольное условіе о совокупномъ дѣйствіи силъ на одну и ту же массу—подобно закону инерціи—не выводится изъ наблюденія или опыта, не можетъ быть и доказанъ [1]), развѣ только, если введемъ новое условіе, равносильное названному закону. Начало параллелограмма именно и учитъ насъ тому, что надо разумѣть, когда говорится о совокупномъ дѣйствіи силъ.

7. Первый законъ Ньютона даетъ намъ признакъ силы, второй указываетъ ея величину и направленіе. Повидимому всѣ аттрибуты силы опредѣлены; тѣмъ не менѣе легко сообразить, что, если ограничиться этими двумя законами, то понятіе о силѣ было бы вполнѣ призрачнымъ. На самомъ дѣлѣ, мы видѣли (§ 3), что движеніе, а слѣд. и ускореніе тѣла существенно зависитъ отъ того объекта, отъ тѣхъ осей, относительно коихъ мы опредѣляемъ положеніе тѣла $A$, ибо, въ зависимости отъ осей, къ которымъ отнесено движеніе разсматриваемой массы, мы можемъ одновременно сказать про эту массу, что у нея то или другое ускореніе или даже вовсе нѣтъ ускоренія. Если же принять во вниманіе законъ параллелограмма, то произволъ станетъ еще шире: найдя, что масса движется съ ускореніемъ, мы пока еще не имѣемъ возможности рѣшить, приложена-ли къ массѣ одна сила или нѣсколько, конечно, такихъ, чтобы ихъ равнодѣйствую-

[1]) Всѣ почти такъ называемыя доказательства закона параллелограмма силъ опредѣляютъ, собственно говоря, алгоритмъ геометрическаго сложенія векторовъ по даннымъ заранѣе свойствамъ этой операціи.

щая равнялась первой. Выходъ изъ указанныхъ затрудненій, а также отвѣтъ на вопросъ, что заставляетъ силу дѣйствовать на массу, гдѣ источникъ силы, и дается третьимъ закономъ Ньютона или *закономъ о дѣйствіи и противодѣйствіи*.

Замѣтимъ предварительно, что движеніе, какъ объектъ наблюденія, возможно лишь при наличности, по крайней мѣрѣ, двухъ тѣлъ. Если бы данное тѣло было одно во всей вселенной, то о движеніи его, какъ объ явленіи, подлежащемъ наблюденію, не могло быть и рѣчи; съ другой стороны при наличности не болѣе, чѣмъ двухъ тѣлъ, уже мыслимо, что различія въ ихъ взаимномъ положеніи могутъ вліять на движеніе тѣлъ одного относительно другого. Поэтому условіе объ источникѣ силъ должно быть таково, чтобы и для двухъ тѣлъ давать вполнѣ законченный результатъ.

По третьему закону Ньютона за источникъ силы $F$, приложенной къ данной массѣ $A$, принимается другая масса $B$, къ которой приложена сила $\Phi$, равная и противоположная первой силѣ. Если силу, приложенную къ первой массѣ, назовемъ *дѣйствіемъ*, а силу, приложенную ко второй массѣ,—*противодѣйствіемъ*, то третій законъ можно формулировать такъ: *каждому дѣйствію соотвѣтствуетъ равное и прямопротивоположное противодѣйствіе*. По высказанному правилу источникомъ силы $\Phi$ приложенной къ $B$, служитъ масса $A$. Такимъ образомъ удовлетворяется высказанное выше требованіе, чтобы для двухъ массъ получался замкнутый результатъ.

8. Теперь уже мы имѣемъ ясные отвѣты на поставленные выше вопросы, и понятіе „сила" принимаетъ вполнѣ опредѣленный характеръ. Когда по направленію ускоренія массы найдемъ вторую массу, причемъ такую, что—по третьему закону—можемъ принять ее за источникъ силы, дѣйствующей на первую массу, тогда и говоримъ, что къ первой массѣ приложена одна сила. Если же такой второй массы нѣтъ, то разлагаемъ силу, приложенную къ первой массѣ, на двѣ или болѣе составляющихъ и ищемъ для нихъ источники. Такъ напр. по направленію ускоренія луны мы не встрѣчаемъ такой массы, которую можно было бы принять за источникъ силы, управляющей луннымъ движеніемъ; тогда мы разлагаемъ эту послѣднюю силу на двѣ составляющія, направленныя по линіямъ, которыя соединяютъ луну съ землею и солнцемъ, и говоримъ, что луна движется подъ дѣйствіемъ силъ притяженія къ вышеназваннымъ тѣламъ. Можетъ

случиться, какъ это и произошло съ центробѣжною частью вѣса, что, несмотря ни на какія разложенія, источниковъ для всѣхъ приложенныхъ къ тѣлу силъ не находится, по крайней мѣрѣ, не находится такихъ, какими мы удовлетворились бы; тогда мы перемѣняемъ тотъ объектъ, относительно котораго разсматривается движеніе, съ цѣлью избавиться отъ лишнихъ ускореній. Такъ въ указанномъ примѣрѣ отъ осей неизмѣнно связанныхъ съ вращающеюся землею переходимъ къ осямъ неизмѣнно связаннымъ съ солнцемъ. Подобныя разложенія силъ и переходъ отъ однихъ осей къ другимъ продолжаются до тѣхъ поръ, пока всякой силѣ не будетъ указанъ ея источникъ.

9. Если будемъ смотрѣть на динамику, какъ на первую изъ естественныхъ наукъ, какъ на первую главу ньютоновской натуральной философіи, то значеніе третьяго закона уяснится намъ еще съ другой точки зрѣнія. Въ такомъ случаѣ главною цѣлью динамики является созданіе ясной и опредѣленной картины движенія тѣлъ вселенной. Но, какъ мы видѣли, кинематическихъ картинъ движенія столько, сколько движущихся объектовъ, слѣд. для вселенной безчисленное множество, и, логически, всѣ онѣ одинаково правильны. Маятникъ, качающійся па неподвижной стѣнѣ, или стѣна, колеблющаяся около неподвижнаго маятника, представляютъ собою двѣ стороны одного и того же явленія— относительнаго движенія двухъ тѣлъ: стѣны и маятника. Какому изъ безконечнаго ряда встающихъ предъ нашими взорами кинематическихъ образовъ вселенной отдать преимущество, на какомъ изъ нихъ остановиться, который возвести, такъ сказать, въ законъ природы, рѣшаетъ третій законъ Ньютона. По условію движенія тѣлъ управляются силами, силы же опредѣлены вполнѣ только тогда, когда указаны ихъ источники; слѣд. движеніе міра должно быть отнесено къ такимъ осямъ, чтобы каждому дѣйствію нашлось равное и прямопротивоположное противодѣйствіе.

Но теперь возникаетъ новый вопросъ, всегда-ли возможно найти такія оси, чтобы каждая сила имѣла свой источникъ. Быть можетъ, требованіе, чтобы силы группировались попарно, налагаетъ особыя условія на строй и составъ вселенной. Подробное изслѣдованіе заняло бы слишкомъ много мѣста; поэтому мы здѣсь ограничимся указаніемъ на статьи [1]), въ которыхъ разбирается

[1]) См. мои статьи „Разысканіе противодѣйствій" (Кіев. Унив. Изв. 1900 г.), и „Къ вопросу о противодѣйствіяхъ." (Кіев. Унив. Изв. 1901 г.).

упомянутый вопросъ, и приведемъ лишь окончательный результатъ, тѣмъ болѣе, что въ дальнѣйшемъ намъ придется повторить тѣ же заключенія по другому аналогичному случаю. Оказывается, что—каковы бы ни были движенія данныхъ массъ—*всегда* можно найти такія оси, чтобы каждому дѣйствію нашлось равное и прямопротивоположное противодѣйствіе, причемъ силы, приложенныя къ отдѣльнымъ массамъ, опредѣлятся *единственнымъ* образомъ, если остановиться на простѣйшемъ рѣшеніи.

Полученный результатъ самымъ нагляднымъ образомъ показываетъ, что третій законъ никакъ нельзя считать выводомъ изъ наблюденій или опыта, такъ какъ любое, по произволу заданное движеніе массъ оказывается подходящимъ подъ его мѣрку.

Обратимъ вниманіе еще на одно обстоятельство. По мѣрѣ того, какъ расширяются наши познанія о вселенной, по мѣрѣ того, какъ число тѣлъ, движеніе которыхъ намъ становится извѣстнымъ, возрастаетъ, приходится относить движеніе все къ новымъ осямъ, напр. сначала къ осямъ, неизмѣнно связаннымъ съ мѣстомъ наблюденія, затѣмъ къ осямъ, движущимся лишь поступательно съ землею, потомъ къ осямъ, имѣющимъ начало въ солнцѣ, и т. д. При этомъ, конечно, всякій разъ въ зависимости отъ ускореній мѣняется и динамическая картина вселенной: появляются новыя силы, другія фиктивныя силы (въ родѣ центробѣжной части вѣса) исчезаютъ. Но должно замѣтить, что разъ опредѣленная въ какомъ-либо изъ движеній пара взаимныхъ силъ (дѣйствіе и противодѣйствіе) уже ни въ одномъ изъ послѣдующихъ измѣненій не пропадетъ. Какъ извѣстно изъ кинематики, къ найденнымъ силамъ могутъ прибавиться другія, но двѣ равныя и прямопротивоположныя силы пройдутъ чрезъ весь безконечный рядъ послѣдующихъ движеній. Такъ напр. пара взаимныхъ силъ, разъединяющихъ листочки электроскопа и найденныхъ для движенія относительно осей неподвижныхъ на землѣ, останется и для движенія по отношенію къ осямъ, неизмѣнно связаннымъ съ созвѣздіемъ Геркулеса. Оказывается такимъ образомъ, что тѣ записи законовъ природы, которыя мы дѣлаемъ теперь на основаніи взаимныхъ силъ, не сотрутся никогда, развѣ только ньютоніанская динамическая схема перестанетъ удовлетворять человѣческій разумъ и замѣнится какою-либо другою.

Резюмируя все сказанное о третьемъ законѣ, приходимъ къ выводамъ, что это положеніе такое же условіе или опредѣленіе, какъ и первые два закона, что третій законъ отнюдь не

является результатомъ наблюденія или опыта и что безъ третьяго закона понятіе о силѣ неполно, неточно и призрачно.

Въ изложенной выше цѣпи опредѣленій, лежащихъ въ основѣ ньютоніанской схемы, нѣтъ по моему мнѣнію ни самопротиворѣчій, ни несообразностей. Не встрѣтится затрудненій и при дальнѣйшемъ правильномъ развитіи этой схемы, если, конечно, собственныя ошибки и недоумѣнія не будемъ приписывать Ньютону [1]).

10. Въ своемъ изложеніи я неоднократно упоминалъ о томъ, что ньютоніанская механическая схема не единственная, что рядомъ съ нею допустимы и многія другія, одинаково правильныя. Но уже въ самомъ началѣ я указывалъ на два часто упускаемыя изъ виду обстоятельства, а именно: число основныхъ понятій въ любой схемѣ должно оставаться то же, что и у Ньютона (четыре); затѣмъ самая незначительная перемѣна въ основныхъ опредѣленіяхъ существеннымъ образомъ отразится въ дальнѣйшемъ и измѣнитъ весь строй науки. Поэтому отнюдь нельзя думать, что способъ изложенія началъ динамики безъ всякаго ущерба для дѣла можно предоставить на добрую волю каждаго — пусть всякій, какъ хочетъ, съ узко педагогическими цѣлями ломаетъ стройную систему Ньютона; потомъ опять все пойдетъ хорошо. Дѣло обстоитъ совсѣмъ не такъ: если, хотя бы очень мало, измѣнить начальныя опредѣленія, то для логической послѣдовательности необходимо измѣнить и все дальнѣйшее; иными словами, приходится создавать новую, свою собственную, не Ньютонову механику. Такая задача далеко не всѣмъ по-плечу; поэтому, обыкновенно, бросивъ вначалѣ Ньютона, потомъ опять къ нему возвращаются и дѣлаютъ, такъ сказать, логическій вольтъ. Понятно само собою, что при подобномъ изложеніи основныя начала ничѣмъ не связаны съ дальнѣйшимъ, и, какъ справедливо замѣчаетъ Герцъ [2]), подобный излагатель, одолѣвъ рытвины собственныхъ начальныхъ опредѣленій, потомъ отдыхаетъ душою на широкой и торной ньютоновой дорогѣ. Конечно, при этомъ всегда остается недоумѣніе, почему такая глубокая разница между началомъ науки и ея дальнѣйшимъ развитіемъ. Чтобы подтвердить нашу мысль примѣромъ, а также, чтобы аналогіями рѣзче отмѣтить апріорность (въ нашемъ смыслѣ) ньютоновыхъ

---

[1]) См. напр. *Hertz*, Principien, Einleitung, S. 6 и 7 о центробѣжной силѣ.

[2]) Ibid S. 8.

аксіомъ, покажемъ въ дальнѣйшемъ, какая получится механика, если принять за основное понятіе не массу, а силу. Для большей близости съ Ньютономъ мы будемъ считать силу, какъ лейбницеву потенцію, количествомъ скалярнымъ, а не векторіальнымъ; поэтому и новую схему назовемъ лейбниціанскою.

11. Въ основаніе задуманной нами схемы кладется мысль, что мы можемъ также непосредственно судить о томъ, что есть сила, какъ по Ньютону непосредственно рѣшаемъ вопросъ, тѣло ли данный объектъ или не тѣло. Въ ньютоніанской механикѣ изъ четырехъ первоначальныхъ понятій: величина, пространство, время и масса строится вспомогательное понятіе — сила. Здѣсь же, въ лейбниціанской механикѣ, надо построить вспомогательное понятіе о массѣ или о тѣлѣ съ помощью четырехъ основныхъ: величина, пространство, время и сила. При этомъ опять понадобятся три условія или опредѣленія для того, чтобы понятію о массѣ дать ту же законченность, какую имѣетъ понятіе о силѣ у Ньютона.

12. Первое условіе или первый законъ дастъ намъ признакъ, по которому можно узнать, есть-ли масса или нѣтъ тамъ, гдѣ ощущается сила. Держась какъ можно ближе Ньютона, примемъ, что если объемъ, въ которомъ чувствуется сила, движется съ ускореніемъ, то это и будетъ признакомъ существованія здѣсь массы. Наоборотъ, если названный объемъ покоится или движется прямолинейно и равномѣрно, то массы въ немъ нѣтъ. Высказанное условіе представляетъ собою полную аналогію закона инерціи, и едва-ли кто рѣшится сказать, что его можно получить изъ наблюденія или опыта.

13. Второй законъ или второе условіе даетъ возможность выразить массу числомъ. Принимаемъ, что масса $m$ прямопропорціональна силѣ $P$ и обратнопропорціональна ускоренію $g$; слѣд. при частномъ выборѣ единицъ можемъ принять

$$m = \frac{P}{g}.$$

Но что будетъ здѣсь аналогіею закона параллелограмма? Другими словами, какъ векторіальность ускореній перенести на массы? Пусть ускореніе $g$ представляетъ собою геометрическую сумму $n$ ускореній $g_1, g_2, \dots g_n$; т. е. пусть

$$(\alpha) \qquad (g) = (g_1) + (g_2) + \cdots + (g_n).$$

Спрашивается, какой величины масса перемѣщается по на-

правленію ускоренія $g_i$. Чтобы не встать въ противорѣчіе съ начальною частью новаго второго закона, мы должны сказать, что по направленію $g_i$ перемѣщается масса $m_i = P/g_i$. А тогда геометрическое равенство (α) принимаетъ видъ:

$$\left(\frac{P}{m}\right) = \left(\frac{P}{m_1}\right) + \left(\frac{P}{m_2}\right) + \cdots + \left(\frac{P}{m_n}\right),$$

или по сокращенію на $P$:

$$\left(\frac{1}{m}\right) = \left(\frac{1}{m_1}\right) + \left(\frac{1}{m_2}\right) + \cdots + \left(\frac{1}{m_n}\right). \qquad (\beta)$$

Полученное равенство (β) и даетъ намъ, если угодно, законъ параллелограмма массъ: когда объемъ, въ которомъ ощущается сила $P$, движется съ ускореніемъ $g$, то можно безразлично сказать, что въ этомъ объемѣ по одному направленію $g$ движется одна масса $m = P/g$ или по различнымъ направленіямъ движутся нѣсколько массъ $m_i$, но только такихъ, чтобы ихъ обратныя величины $(1/m_i)$ въ своей геометрической суммѣ давали величину обратную первой массѣ, т. е. $(1/m)$. Самая необычность и парадоксальность формы этого закона освобождаетъ насъ отъ обязанности повторять о независимости его отъ опыта.

По Ньютону уравненія движенія матеріальной точки представляютъ собою не что иное, какъ аналитическій перифразъ геометрическаго равенства:

$$(mg) = (P),$$

гдѣ $m$ данная постоянная, а $P$ перемѣнная равнодѣйствующая силъ, опредѣляемыхъ по условіямъ заданія. Въ лейбниціанской схемѣ уравненія движенія слѣдовало бы писать такъ:

$$\left(\frac{g}{P}\right) = \left(\frac{1}{m}\right),$$

гдѣ $P$ данная постоянная, а $(1/m)$ вообще говоря, перемѣнная, во времени геометрическая сумма величинъ, обратныхъ массамъ, которыя находятся изъ условій задачи. Замѣтимъ здѣсь, что надо сдѣлать усиліе, чтобы отрѣшиться отъ ньютоніанской точки зрѣнія, по которой масса нѣкоторая константа, вѣчно присущая данному движущемуся тѣлу. По новой схемѣ, наоборотъ, сила нѣчто данное, постоянное, и при перемѣщеніи объема, въ которомъ эта сила чувствуется, увлекаются съ этимъ объемомъ различныя массы.

14. Двумя вышеизложенными законами не исчерпывается

рядъ условій, необходимыхъ для точнаго опредѣленія понятія о массѣ. Относительность движенія и слѣд. зависимость ускоренія отъ выбора тѣхъ осей, къ которымъ относится движеніе, опять дѣлаетъ понятіе о массѣ неопредѣленнымъ. Для законченности надо прибавить еще третье условіе, аналогичное закону о дѣйствіи и противодѣйствіи. Условіе это можно формулировать такъ: каждой массѣ всегда соотвѣтствуетъ другая, равная ей масса, движущаяся съ ускореніемъ прямопротивоположнымъ ускоренію первой массы. Такимъ образомъ масса только тогда вполнѣ опредѣлится, когда ей будетъ найдена такъ сказать противомасса. Новый третій законъ въ лейбниціанской схемѣ играетъ ту же роль, что законъ о дѣйствіи и противодѣйствіи у Ньютона. Этимъ закономъ надо руководиться при разложеніи ускореній или массъ, а также при выборѣ основныхъ осей: изысканія оканчиваются тогда, когда каждой массѣ найдется своя противомасса. Для двухъ силъ результатъ, какъ ясно само собою, такой же замкнутый, какъ и у Ньютона.

15. Несмотря на всю необычность задуманной нами схемы, нетрудно показать, что подъ указанную выше группировку массъ попарно подойдетъ любое произвольно данное распредѣленіе силъ $P_i$ и совершенно произвольное движеніе тѣхъ объемовъ, въ которыхъ ощущаются силы, если только основныя оси выбраны соотвѣтственнымъ образомъ. Съ этою цѣлью начало $O$ новыхъ осей $\xi$, $\eta$, $\zeta$ помѣщаемъ въ точкѣ, координаты которой относительно прежнихъ осей $x$, $y$, $z$ такъ связаны съ координатами относительно тѣхъ же осей $x_i$, $y_i$, $z_i$ того безконечно малаго объема $A_i$, къ коему приложена сила $P_i$:

$$x\sum_i \frac{1}{P_i} = \sum_i \frac{x_i}{P_i}, \quad y\sum_i \frac{1}{P_i} = \sum_i \frac{y_i}{P_i}, \quad z\sum_i \frac{1}{P_i} = \sum_i \frac{z_i}{P_i}.$$

Если координаты той же точки $A_i$ по отношенію къ новымъ осямъ означимъ чрезъ $\xi_i$, $\eta_i$, $\zeta_i$, то при произвольномъ направленіи осей будемъ имѣть:

$$\sum_i \frac{1}{P_i}\xi_i = 0; \quad \sum_i \frac{1}{P_i}\eta_i = 0; \quad \sum_i \frac{1}{P_i}\zeta_i = 0.$$

По условію количества $P_i$ постоянны; дифференцируя предыдущія равенства дважды по времени, получаемъ:

$$\sum_i \frac{1}{P_i}\xi_i'' = 0, \quad \sum_i \frac{1}{P_i}\eta_i'' = 0, \quad \sum_i \frac{1}{P_i}\zeta_i'' = 0$$

или

$$\sum_i \frac{g_i}{P_i}\cos(g_i\xi)=0,\ \sum_i \frac{g_i}{P_i}\cos(g_i\eta)=0,\ \sum_i \frac{g_i}{P_i}\cos(g_i\zeta)=0, \tag{I}$$

если чрезъ $g_i$ означимъ ускореніе точки $A_i$.

Означимъ чрезъ $v_{i\xi}$, $v_{i\eta}$, $v_{i\xi}$ проекціи на оси скорости $v_i$ точки $A_i$. Составимъ теперь выраженія

$$\sum_i \frac{1}{P_i}(v_{i\xi}\eta_i - v_{i\eta}\zeta_i) = F_1(t),\ \sum_i \frac{1}{P_i}(v_{i\xi}\zeta_i - v_{i\zeta}\xi_i) = F_2(t),$$
$$\sum_i \frac{1}{P_i}(v_{i\eta}\xi_i - v_{i\xi}\eta_i) = F_3(t). \tag{8}$$

Функціи времени $F_1$, $F_2$, $F_3$ будутъ намъ вполнѣ извѣстны, если намъ даны распредѣленіе силъ $P_i$ и движеніе точекъ $A_i$.

Сообщимъ теперь осямъ $\xi$, $\eta$, $\zeta$ нѣкоторую угловую скорость $\omega$, опредѣляемую проекціями $p$, $q$, $r$ на эти оси. Тогда между прежними скоростями $v_{i\xi}$, $v_{i\eta}$, $v_{i\xi}$ и новыми $\omega_{i\xi}$, $\omega_{i\eta}$, $\omega_{i\xi}$ имѣемъ слѣдующія зависимости:

$$v_{i\xi} = \omega_{i\xi} + q\zeta_i - r\eta_i,\quad v_{i\eta} = \omega_{i\eta} + r\xi_i - p\zeta_i,\quad v_{i\zeta} = \omega_{i\zeta} + p\eta_i - q\xi_i.$$

Подставляя въ равенство (8) находимъ:

$$\sum_i \frac{1}{P_i}(\omega_{i\zeta}\eta_i - \omega_{i\eta}\zeta_i) + p\sum_i \frac{1}{P_i}(\eta_i^2+\zeta_i^2) - q\sum_i \frac{1}{P_i}\xi_i\eta_i - r\sum_i \frac{1}{P_i}\zeta_i\xi_i = F_1(t);$$
$$\sum_i \frac{1}{P_i}(\omega_{i\xi}\zeta_i - \omega_{i\zeta}\xi_i) - p\sum_i \frac{1}{P_i}\xi_i\eta_i + q\sum_i \frac{1}{P_i}(\zeta_i^2+\xi_i^2) - r\sum_i \frac{1}{P_i}\eta_i\zeta_i = F_2(t);$$
$$\sum_i \frac{1}{P_i}(\omega_{i\eta}\xi_i - \omega_{i\xi}\eta_i) - p\sum_i \frac{1}{P_i}\zeta_i\xi_i - q\sum_i \frac{1}{P_i}\eta_i\zeta_i + r\sum_i \frac{1}{P_i}(\xi_i^2+\eta_i^2) = F_3(t).$$

Если количества $p$, $q$, $r$ опредѣлимъ, какъ функціи времени, изъ равенствъ:

$$p\sum_i \frac{1}{P_i}(\eta_i^2+\zeta_i^2) - q\sum_i \frac{1}{P_i}\xi_i\eta_i - r\sum_i \frac{1}{P_i}\zeta_i\xi_i = F_1(t);$$
$$-p\sum_i \frac{1}{P_i}\xi_i\eta_i + q\sum_i \frac{1}{P_i}(\zeta_i^2+\xi_i^2) - r\sum_i \frac{1}{P_i}\eta_i\zeta_i = F_2(t);$$
$$-p\sum_i \frac{1}{P_i}\zeta_i\xi_i - q\sum_i \frac{1}{P_i}\eta_i\zeta_i + r\sum_i \frac{1}{P_i}(\xi_i^2+\eta_i^2) = F_3(t);$$ [1]

[1]) Относительно опредѣлителя этихъ линейныхъ уравненій см. аналогичныя разсужденія въ моей замѣткѣ „Къ вопросу о противодѣйствіяхъ" (Кіев. Ун. Изв. 1901).

тогда окажется, что

$$\sum_i \frac{1}{P_i}(\zeta_i'\eta_i - \eta_i'\zeta_i) = 0, \quad \sum_i \frac{1}{P_i}(\xi_i'\zeta_i - \zeta_i'\xi_i) = 0,$$

$$\sum_i \frac{1}{P_i}(\eta_i'\xi_i - \xi_i'\eta_i) = 0,$$

гдѣ проекціи скорости $\omega_i$ замѣнены соотвѣтственными производными отъ координатъ.

Дифференцируя полученныя равенства по времени, найдемъ:

$$\sum_i \frac{1}{P_i}(\zeta_i''\eta_i - \eta_i''\zeta_i) = 0, \quad \sum_i \frac{1}{P_i}(\xi_i''\zeta_i - \zeta_i''\xi_i) = 0, \quad \sum_i \frac{1}{P_i}(\eta_i''\xi_i - \xi_i''\eta_i) = 0;$$

или, вводя снова ускоренія $g_i$:

$$\sum_i \frac{g_i}{P_i}\{\eta_i \cos(g_i\zeta) - \zeta_i \cos(g_i\eta)\} = 0,$$

$$\text{(II)} \qquad \sum_i \frac{g_i}{P_i}\{\zeta_i \cos(g_i\xi) - \xi_i \cos(g_i\zeta)\} = 0,$$

$$\sum_i \frac{g_i}{P_i}\{\xi_i \cos(g_i\eta) - \eta_i \cos(g_i\xi)\} = 0.$$

Изъ (I) и (II) вытекаетъ, что система приложенныхъ векторовъ $(g_i/P_i)$ эквивалентна нулю; а такая система, какъ легко показать [1]), всегда можетъ быть замѣнена системою векторовъ равныхъ и прямопротивоположно направленныхъ. Припоминая, что отношеніе $(g_i/P_i)$ равно $(1/m_i)$, мы убѣждаемся, что для взятыхъ осей каждой массѣ нашлась своя противомасса.

16. Какъ видимъ, незначительное на взглядъ измѣненіе въ основныхъ положеніяхъ въ концѣ концовъ увело насъ совсѣмъ далеко отъ Ньютона. Въ послѣдующемъ пропасть между лейбниціанскою и ньютоніанскою механиками становилась бы все глубже и глубже. Въ концѣ § 13 мы намѣтили, въ какомъ направленіи должно было бы найти развитіе нашей дисциплины при взятой точкѣ отправленія.

Подобно лейбниціанской можно было бы изложить схемы энергетическую, герцову и т. д. Всѣ онѣ, правильно составленныя, потребуютъ своихъ основныхъ условій, и динамики, отсюда выведенныя, будутъ въ корнѣ разниться отъ общепринятой

[1]) См. напр. мою статью „Разысканіе противодѣйствій" (Кіев. Унив. Изв. 1900).

теперь. Поэтому, повторимъ еще разъ, къ законамъ Ньютона надо относиться съ особою осторожностью, помня, что всякое измѣненіе въ нихъ неизбѣжно отразится и на всемъ послѣдующемъ, если, конечно, логическая правильность обязательна и для динамики.

Кіевъ, 12 января 1902.

---

## Объ одной задачѣ изъ механическаго отдѣла общаго курса физики.

А. И. Садовскаго.

1. Въ общемъ курсѣ физики при изложеніи эквивалентности теплоты и механической работы очень часто предлагается задача, подобная слѣдующей: тѣло, масса котораго равна $m$, падая на землю съ нѣкоторой высоты, имѣетъ въ моментъ удара скорость $\mathfrak{v}_1$; предполагая ударъ вполнѣ неупругимъ и потерянную живую силу перешедшею только въ теплоту, найти количество развившагося тепла? Одни изъ студентовъ рѣшаютъ эту задачу обычнымъ путемъ, говоря, что количество развившагося тепла должно быть равно $m\mathfrak{v}_1^2/2E$, гдѣ $E$ есть механическій эквивалентъ тепла; другіе же, желая принять во вниманіе не только скорость падающаго тѣла относительно земли, но также и скорость движенія самой земли, даютъ, примѣрно, такое рѣшеніе: обозначивъ скорость движенія земли чрезъ $V$ и принявъ для облегченія разсчета, что направленіе этой скорости совпадаетъ съ направленіемъ скорости $\mathfrak{v}_1$, получаютъ, что живая сила въ моментъ начала удара выражается чрезъ $m(V+\mathfrak{v}_1)^2/2$ и въ моментъ окончанія удара—чрезъ $mV^2/2$; отсюда, количество живой силы, потерянной при ударѣ, будетъ равно $m\mathfrak{v}_1^2/2+mV\mathfrak{v}_1$, и слѣдовательно, какъ говорятъ они, количество развитаго тепла должно быть равно $m\mathfrak{v}_1^2/2E+mV\mathfrak{v}_1/E$.

Недоразумѣніе, возбуждающееся при рѣшеніи этой задачи, переносится на разборъ метода Гирна для опредѣленія механическаго эквивалента теплоты ударомъ. Такъ какъ въ извѣстныхъ мнѣ общихъ курсахъ физики эта сторона вопроса не затраги-

вается, то мнѣ казалось полезнымъ разобрать этотъ вопросъ нѣсколько болѣе детально, чѣмъ это обыкновенно дѣлается.

2. Вообразимъ себѣ два поступательно движущихся шара, массы которыхъ суть $M$ и $m$ и абсолютныя скорости которыхъ равны $V$ и $v$ и направлены по центральной линіи шаровъ; примемъ, что направленія и величины этихъ скоростей таковы, что между шарами долженъ произойти центральный ударъ; предположимъ ударъ не вполнѣ упругимъ и вычислимъ количество живой силы, потерянной шарами при этомъ ударѣ.

Пусть соотвѣтственныя скорости въ началѣ удара будутъ $V_1$ и $v_1$ и въ концѣ удара $V_2$ и $v_2$; тогда $T$, количество живой силы, потерянной обоими шарами за время удара, будетъ

$$(1)\qquad T=\frac{MV_1^2}{2}+\frac{mv_1^2}{2}-\frac{MV_2^2}{2}-\frac{mv_2^2}{2},$$

откуда

$$(2)\qquad 2T=M(V_1^2-V_2^2)+m(v_1^2-v_2^2).$$

*Примѣчаніе.* Желая примѣнить это выраженіе къ случаю небольшого тѣла, падающаго съ небольшой высоты на землю (напримѣръ, къ паденію камня съ башни), обыкновенно дѣлаютъ такую ошибку: считаютъ, что—вслѣдствіе громадной массы земли $M$ по отношенію къ массѣ падающаго тѣла $m$—скорости земли въ началѣ и въ концѣ удара (т. е. $V_1$ и $V_2$) будутъ отличаться другъ отъ друга на неизмѣримо-малую величину; вслѣдствіе этого измѣненіе живой силы земли считаютъ равнымъ нулю. Какъ увидимъ ниже, это безусловно несправедливо: измѣненіе живой силы земли въ этомъ случаѣ получается громадное.

Такъ какъ въ полученное для $T$ выраженіе входятъ абсолютныя скорости, которыхъ мы не знаемъ и знать не можемъ, то пользоваться этимъ выраженіемъ для вычисленія $T$ нельзя; нужно преобразовать его такъ, чтобы входили скорости относительныя и при томъ такія, которыя намъ могутъ быть извѣстны. Это преобразованіе можетъ быть выполнено слѣдующимъ образомъ. Такъ какъ при актѣ удара измѣненіе скоростей производится силами внутренними, то количество движенія обоихъ соударяющихся тѣлъ актомъ удара не измѣняется; поэтому можемъ написать

$$(3)\qquad MV_1+mv_1-MV_2-mv_2=0$$

или

$$2CM(V_1 - V_2) + 2Cm(v_1 - v_2) = 0, \qquad (4)$$

гдѣ $C$ есть произвольная величина. Вычтя полученное равенство изъ равенства (2), получимъ

$$2T = M[(V_1^2 - V_2^2 - 2C(V_1 - V_2)] + m[v_1^2 - v_2^2 - 2C(v_1 - v_2)]; \qquad (5)$$

это же равенство простымъ алгебраическимъ преобразованіемъ легко можетъ быть приведено къ виду

$$2T = M[(V_1 - C)^2 - (V_2 - C)^2] + m[(v_1 - C)^2 - (v_2 - C)^2] \qquad (6)$$

Введенная нами произвольная величина $C$ можетъ быть разсматриваема, какъ нѣкоторая произвольная абсолютная скорость; въ этомъ случаѣ разности абсолютныхъ скоростей $V-C$, $V_2-C$, $v_1-C$, и $v_2-C$ будутъ относительными скоростями въ началѣ и въ концѣ удара, взятыми по отношенію къ абсолютной скорости $C$. Если придать этой скорости подходящее значеніе, то выраженіемъ (6) можно пользоваться для нахожденія величины $T$.

Сопоставляя уравненія (2) и (6), мы видимъ, что въ данномъ вопросѣ общая убыль живой силы обоихъ шаровъ, т. е. количество кинетической энергіи, перемѣнившей свою форму, можетъ быть выражено какъ чрезъ скорости абсолютныя (ур-іе 2), такъ и чрезъ скорости относительныя (ур-іе 6). Если принять, что въ моментъ удара направленіе абсолютной скорости движенія того мѣста земной поверхности, въ которой происходитъ ударъ, совпадаетъ съ направленіемъ скоростей $V$ и $v$, то очевидно, что подъ скоростью $C$ слѣдуетъ подразумѣвать абсолютную скорость движенія этого мѣста земной поверхности, такъ какъ въ этомъ случаѣ разности $V_1-C$, $V_2-C$, $v_1-C$ и $v_2-C$ будутъ представлять собою скорости шаровъ относительно земной поверхности.

3. Примѣнимъ полученное выраженіе (6) для опредѣленія потери живой силы при паденіи какого-нибудь тѣла $m$, принимая прежнее облегчающее предположеніе, что направленія абсолютныхъ скоростей $V$ и $v$ совпадаютъ. Обозначивъ массу земли чрезъ $M$, ея абсолютныя скорости въ началѣ и въ концѣ удара чрезъ $V_1$ и $V_2$, абсолютныя скорости тѣла $m$ въ началѣ и въ концѣ удара чрезъ $v_1$ и $v_2$ и положивъ $C = V_2$, получимъ

$$2T = M(V_1 - V_2)^2 + m[(v_1 - V_2)^2 - (v_2 - V_2)^2] = \qquad (7)$$
$$= M(V_1 - V_2)^2 + m(\mathfrak{v}_1^2 - \mathfrak{v}_2^2)$$

гдѣ $\mathfrak{v}_1$ и $\mathfrak{v}_2$ суть относительныя скорости тѣла въ началѣ и въ

концѣ удара, взятыя по отношенію къ скорости земли въ концѣ удара.

Слагаемое $M(V_1-V_2)^2$ представляетъ собою неизмѣримо-малую величину; въ самомъ дѣлѣ, въ силу ур-ія (3)

$$M(V_1-V_2)=m(v_2-v_1)=m(\mathfrak{v}_2-\mathfrak{v}_1) \tag{8}$$

а слѣдовательно,

$$M(V_1-V_2)^2=m(\mathfrak{v}_2-\mathfrak{v}_1)(V_1-V_2). \tag{9}$$

Разность $V_1-V_2$ ничтожно-мала (вслѣдствіе громадной массы земли сравнительно съ массою падающаго тѣла), а слѣдовательно и произведеніе $m(\mathfrak{v}_2-\mathfrak{v}_1)(V_1-V_2)$, равное $M(V_1-V_2)^2$, тоже ничтожно-мало. Пренебрегая этимъ произведеніемъ, получимъ

$$2T=m(\mathfrak{v}_1^2-\mathfrak{v}_2^2).$$

Если ударъ вполнѣ неупругъ, то $v_2=V_2$; поэтому $\mathfrak{v}_2=0$ и слѣдовательно

$$2T=m\mathfrak{v}_1^2.$$

4. Легко видѣть ошибку, которая очень часто дѣлается при разборѣ даннаго примѣра желающими воспользоваться для опредѣленія $T$ выраженіемъ (2) и полагающими въ немъ произведеніе $M(V_1^2-V_2^2)$ равнымъ нулю вслѣдствіе ничтожной малости разности $V_1-V_2$. Пользуясь уравненіемъ (3), можемъ написать

$$\begin{aligned} M(V_1^2-V_2^2)&=M(V_1-V_2)(V_1+V_2)=m(v_2-v_1)(V_1+V_2)\\ &=m(\mathfrak{v}_2-\mathfrak{v}_1)(V_1+V_2)=-m(\mathfrak{v}_1-\mathfrak{v}_2)(V_1+V_2), \end{aligned} \tag{10}$$

гдѣ $\mathfrak{v}_1$ и $\mathfrak{v}_2$, согласно прежнему обозначенію, суть относительныя скорости $m$ въ началѣ и въ концѣ удара, взятыя по отношенію къ скорости $V_2$. Считая $M$ чрезвычайно большимъ сравнительно съ $m$ и полагая вслѣдствіе этого $V_1-V_2$ чрезвычайно малой, мы, какъ видно изъ уравненія (10), не получимъ, что произведеніе $M(V_1^2-V_2^2)$ ничтожно мало. Если при практическомъ разсчетѣ мы будемъ считать $V_1-V_2$ безконечно малой и, пренебрегая ею, положимъ $V_1=V_2=V$, то при $m$ конечномъ мы должны будемъ въ силу уравненія (3) считать $M$ безконечно большимъ; произведеніе $M(V_1^2-V_2^2)$ представитъ собою въ этомъ случаѣ неопредѣленность вида $\infty\cdot 0$, значеніе которой согласно уравненію (10) будетъ

$$M(V_1^2-V_2^2)=-2m(\mathfrak{v}_1-\mathfrak{v}_2)V \tag{11}$$

или для вполнѣ неупругаго удара

$$M(V_1^2 - V_2^2) = -2m\mathfrak{v}_1 V. \qquad (12)$$

Благодаря множителю $V$ это количество, представляющее собою удвоенную потерю живой силы одной земли при паденіи на нее тѣла, очень велико сравнительно съ $m\mathfrak{v}_1^2$, представляющимъ собою удвоенную потерю живой силы земли и тѣла вмѣстѣ. Чтобы сосредоточить вниманіе на какомъ-нибудь опредѣленномъ случаѣ, разсмотримъ численный примѣръ, причемъ будемъ предполагать $\mathfrak{v}_1$ положительнымъ, $\mathfrak{v}_2 = 0$ и $V_1 = V_2 = V$; такъ какъ количество живой силы, потерянной одною землею, при этихъ предположеніяхъ выразится отрицательною величиною $(-m\mathfrak{v}_1 V)$, то это значитъ, что земля не потеряетъ, а получитъ количество живой силы, равное $m\mathfrak{v}_1 V$.

Предположимъ, что тѣло, вѣсъ котораго $P$ равенъ одному килограмму, падаетъ на землю съ высоты $h$ равной 5 метрамъ; при такой высотѣ паденія скорость въ моментъ удара будетъ равна $\sqrt{2.9{\cdot}8.5} = \sqrt{98}$. Въ этомъ случаѣ $m\mathfrak{v}_1^2/2$, т. е. потеря живой силы земли и тѣла вмѣстѣ, какъ равная $Ph$, будетъ равна 5 kgm. Что касается приращенія живой силы одной земли, равнаго $m\mathfrak{v}_1 V$, то, принимая скорость движенія земли по орбитѣ $V = 29600$ m/sec, получимъ, что

$$m\mathfrak{v}_1 V = \frac{m\mathfrak{v}_1^2}{2}\,\frac{2V}{\mathfrak{v}_1} = 5\,\frac{2V}{\mathfrak{v}_1} = \frac{10.29600}{\sqrt{98}} = \frac{296000}{9{\cdot}9}$$

или приближенно 30000 kgm.

5. Сопоставленіе этихъ двухъ чиселъ невольно наводитъ на мысль, что мы имѣемъ здѣсь дѣло съ какимъ-то парадоксомъ; громадное приращеніе живой силы земли на первый взглядъ можетъ показаться совершенно непонятнымъ и несовмѣстимымъ съ принципомъ сохраненія энергіи: не виденъ источникъ, изъ котораго это количество живой силы перешло къ землѣ. Всѣ эти сомнѣнія исчезнутъ, если разобрать подробнѣе выраженіе $m(v_1^2 - v_2^2)$, опредѣляющее количество живой силы, потерянной однимъ тѣломъ $m$. Дѣйствительно, при помощи элементарныхъ алгебраическихъ преобразованій получаемъ

$$\begin{aligned} m(v_1^2 - v_2^2) &= m[(\mathfrak{v}_1 + V_2)^2 - (\mathfrak{v}_2 + V_2)^2] = m_2(\mathfrak{v}_1^2 - \mathfrak{v}_2^2) + 2m(\mathfrak{v}_1 - \mathfrak{v}_2)V_2 \\ &= m(\mathfrak{v}_1^2 - \mathfrak{v}_2^2) + m(\mathfrak{v}_1 - \mathfrak{v}_2)[(V_2 - V_1) + (V_1 + V_2)] = \\ &= m(\mathfrak{v}_1^2 - \mathfrak{v}_2^2) + m(\mathfrak{v}_1 - \mathfrak{v}_2)(V_2 - V_1) + m(\mathfrak{v}_1 - \mathfrak{v}_2)(V_1 + V_2); \qquad (13) \end{aligned}$$

пользуясь уравненіемъ (8), можемъ написать

$$m(v_1^2 - v_2^2) = m(\mathfrak{v}_1^2 - \mathfrak{v}_2^2) + M(V_1 - V_2)^2 + m(\mathfrak{v}_1 - \mathfrak{v}_2)(V_1 + V_2). \qquad (14)$$

Какъ видимъ, удвоенную убыль живой силы тѣла $m$ можно разсматривать, какъ состоящую изъ двухъ частей: изъ части $m(\mathfrak{v}_1^2-\mathfrak{v}_2^2)+M(V_1-V_2)^2$, согласно уравненію (7) представляющей собою удвоенную полную убыль живой силы земли и тѣла $m$, т. е., слѣдовательно, удвоенное количество энергіи, перемѣнившей свою форму, и изъ части $m(\mathfrak{v}_1-\mathfrak{v}_2)(V_1+V_2)$, согласно уравненію (10) представляющей собою удвоенное количество живой силы, которое перешло отъ тѣла $m$ къ землѣ, не перемѣняя своей формы. Взявъ прежній численный примѣръ и полагая по прежнему $\mathfrak{v}_1$ положительнымъ, $\mathfrak{v}_2=0$ и $V_1=V_2=V$, получимъ, что убыль живой силы тѣла $m$ (одного килограмма, падающаго съ высоты 5 метровъ) равна

$$\frac{m\mathfrak{v}_1^2}{2}+m\mathfrak{v}_1 V=(5+30000)\ \text{kgm}.$$

Изъ этой убыли $m\mathfrak{v}_1 V$, т. е. 30000 kgm., не измѣняя своей формы, передаются землѣ и составляютъ прибыль ея кинетической энергіи, вѣрнѣе живой силы, и только $m\mathfrak{v}_1^2/2$ т. е. 5 kgm., перемѣняютъ свою форму и переходятъ въ другой видъ энергіи. Само собою разумѣется, что въ данномъ вопросѣ нашимъ наблюденіямъ и измѣреніямъ подлежитъ только количество кинетической энергіи, измѣняющей свою форму, т. е. $m\mathfrak{v}_1^2/2$; что же касается количества кинетической энергіи, передающейся отъ тѣла $m$ къ землѣ безъ измѣненія формы, т. е. $m\mathfrak{v}_1 V$, то этого количества мы ни вычислить, ни измѣрить не можемъ, такъ какъ абсолютная міровая скорость земли $V$ намъ неизвѣстна.

7. Настоящею небольшою статьею я желалъ бы между прочимъ обратить вниманіе на ту существенную роль, которую играетъ законъ сохраненія количества движенія въ механически изолированной системѣ. Изъ основныхъ формулъ аналитической механики легко видѣть, что вслѣдствіе третьяго закона движенія—дѣйствіе равно и противоположно противодѣйствію, внутреннія силы какой-либо системы не могутъ вліять на полное количество движенія этой системы; онѣ могутъ вліять и обыкновенно вліяютъ на количество движенія отдѣльныхъ частей системы, но не на геометрическую сумму количествъ движенія всѣхъ частей системы: эта сумма зависитъ только отъ внѣшнихъ силъ. Непосредственнымъ слѣдствіемъ изъ этого вытекаетъ, что *количество движенія какой бы то ни было механически изолированной системы есть величина постоянная.* Этому закону въ

общихъ курсахъ физики придаютъ, какъ мнѣ кажется, очень мало значенія; по моему мнѣнію желательно подчеркнуть насколько возможно сильнѣе, что также какъ въ любой изолированной системѣ существуетъ скаларная величина — энергія, которая можетъ лишь передаваться изъ однихъ частей системы въ другія, можетъ мѣнять свою форму и количество которой ни увеличиваться, ни уменьшаться не можетъ, точно также для всякой изолированной системы существуетъ векторіальная величина—количество движенія, которая тоже можетъ лишь передаваться изъ однѣхъ частей системы въ другія, не будучи въ состояніи при этомъ измѣнить ни своей формы, ни своей величины, ни своего направленія.

7. Такъ какъ всѣ предыдущіе выводы получены при различныхъ облегчающихъ предположеніяхъ, то въ заключеніе я позволю себѣ показать, что и безъ принятыхъ облегчающихъ предположеній изложенные выводы остаются справедливыми. Для этого докажемъ справедливость слѣдующаго предложенія.

Если въ произвольной системѣ матеріальныхъ точекъ, неподверженной дѣйствію внѣшнихъ мгновенныхъ силъ, абсолютныя скорости всѣхъ или нѣкоторыхъ матеріальныхъ точекъ измѣнятся вслѣдствіе дѣйствія внутреннихъ мгновенныхъ силъ, то приращеніе живой силы этой системы можетъ быть разсчитываемо не только по измѣненію абсолютныхъ скоростей движенія точекъ системы, но и по измѣненію скоростей относительныхъ, взятыхъ по отношенію къ любой абсолютной скорости, имѣющей въ началѣ и въ концѣ дѣйствія мгновенныхъ внутреннихъ силъ одно и то же значеніе.

Для доказательства обозначимъ чрезъ $m_1, m_2, \ldots . m_n$ массы матеріальныхъ точекъ системы; чрезъ $u_1, u_2, \ldots u_n, v_1, v_2, \ldots . v_n, w_1, w, \ldots . w_n$ проекціи на произвольно выбранныя прямоугольныя, неподвижныя координатныя оси $X, Y, Z$ абсолютныхъ скоростей соотвѣтствующихъ точекъ системы въ началѣ дѣйствія мгновенныхъ силъ; чрезъ $u'_1, u'_2 \ldots . u'_n, v'_1, v'_2 \ldots . v'_n, w'_1, w'_2 \ldots . w'_n$ проекціи на тѣ же оси тѣхъ же скоростей въ концѣ дѣйствія внутреннихъ мгновенныхъ силъ и чрезъ $T$ приращеніе живой силы системы, произведенное дѣйствіемъ внутреннихъ мгновенныхъ силъ. При этихъ обозначеніяхъ мы можемъ написать

$$(15) \qquad 2T = \Sigma[m_i(u_i'^2 + v_i'^2 + w_i'^2) - m_i(u_i^2 + v_i^2 + w_i^2)] =$$
$$= \Sigma m_i[(u_i'^2 - u_i^2) + (v_i'^2 - v_i^2) + (w_i'^2 - w_i^2)];$$

такъ какъ измѣненіе скоростей происходитъ подъ вліяніемъ силъ внутреннихъ, а таковыя измѣнить общее количество движенія системы не могутъ, то

$$(16)\qquad \begin{aligned} \Sigma(m_iu_i'-m_iu_i) &= \Sigma m_i(u_i'-u_i) = 0, \\ \Sigma(m_iv_i'-m_iv_i) &= \Sigma m_i(v_i'-v_i) = 0, \\ \Sigma(m_iw_i'-m_iw_i) &= \Sigma m_i(w_i'-w_i) = 0. \end{aligned}$$

Въ силу трехъ послѣднихъ уравненій можемъ написать

$$(17)\qquad \Sigma m_i[2C_1(u_i'-u_i)+2C_2(v_i'-v_i)+2C_3(w_i'-w_i)] = 0$$

гдѣ $C_1$, $C_2$, $C_3$ суть произвольныя величины.

Вычтя уравненіе (17) изъ уравненія (15) и сдѣлавъ въ полученномъ результатѣ простыя алгебраическія преобразованія, получимъ

$$(18)\qquad \begin{aligned} 2T &= \Sigma m_i[(u_i'-C_1)^2-(u_i-C_1)^2+(v_i'-C_2)^2-(v_i-C_2)^2+ \\ &\qquad +(w_i'-C_3)^2-(w_i-C_3)] \\ &= \Sigma m_i[(u_i'-C_1)^2+(v_i'-C_2)^2+(w_i'-C_3)^2]- \\ &\qquad -\Sigma m_i[(u_i-C_1)^2+(v_i-C_2)^2+(w_i-C_3)^2] \end{aligned}$$

Такъ какъ $C_1$, $C_2$, $C_3$ вполнѣ произвольны, то мы можемъ ихъ разсматривать какъ проекціи на оси $X$, $Y$, $Z$ нѣкоторой соотвѣтствующей скорости абсолютнаго движенія. Эта абсолютная скорость, которую обозначимъ буквою $C$,—въ силу произвольности $C_1$, $C_2$, $C_3$—будетъ также произвольною какъ по величинѣ, такъ и по направленію. Разности, возвышаемыя въ квадратъ въ уравненіи (18), будутъ въ этомъ случаѣ проекціями на выбранныя нами координатныя оси относительныхъ скоростей матеріальныхъ точекъ системы, взятыхъ по отношенію къ скорости $C$ и, слѣдовательно, высказанное нами предложеніе уравненіемъ (18) доказано.

Для разсчета мгновенныхъ измѣненій живой силы въ какихъ-нибудь системахъ, наблюдаемыхъ въ нашихъ лабораторіяхъ, какъ напримѣръ при извѣстныхъ опытахъ Гирна для опредѣленія механическаго эквивалента тепла ударомъ и т. п., подъ скоростью $C$ очевидно слѣдуетъ подразумѣвать скорость абсолютнаго движенія самой лабораторіи въ моментъ наблюденія, такъ какъ въ этомъ случаѣ мы сведемъ весь разсчетъ на тѣ относительныя скорости, которыя мы наблюдаемъ и измѣряемъ въ нашихъ лабораторіяхъ; такое сведеніе разсчета со скоростей абсолютныхъ (не только намъ недоступныхъ и неизвѣстныхъ, но да-

же и не вполнѣ понятныхъ) на скорости относительныя возможно исключительно, благодаря закону сохраненія количества движенія.

Юрьевъ. 1901.

---

## Абсолютный нуль температуры

### Дж. Дюара [1]).

1. Термометръ съ геліемъ, показывающій 20·5° abs (—252·5° Ц.) при кипѣніи водорода, опредѣляетъ въ 16° abs. температуру его замерзанія. Прежде, когда пользовались термометромъ съ водородомъ, эта температура оцѣнивалась въ 16·7° abs. Самая низкая температура, которая показывалась газовымъ термометромъ, была въ 14·5° (—258·5°), но при лучшемъ изолированіи и большемъ разрѣженіи ее можно, вѣроятно, опустить до 13°; это будетъ низшею температурою, которую можно достичь при помощи твердаго водорода.

Скрытая теплота жидкаго водорода, выводимая изъ упругости паровъ и температуры (по термометру съ геліемъ) равная приблизительно 200 единицамъ, а скрытая теплота твердаго водорода не болѣе 16 единицъ, можетъ быть меньше.

Удѣльная теплота жидкаго водорода оцѣнивалась, опредѣленіемъ процента жидкости, которую надо было быстро испарить въ пустотѣ для того, чтобы жидкость охладилась до замерзанія; при этомъ сосудъ съ испытуемымъ водородомъ погружался въ жидкій воздухъ. Такимъ образомъ было найдено, что для сказанной цѣли надо испарить 15% водорода. Отсюда для средняго значенія удѣльной теплоты жидкаго водорода (между температурами его кипѣнія и замерзанія) получается приблизительно 6. Если для сравненія изслѣдовать также жидкій азотъ, то для него удѣльная теплота окажется 0·43 или 6 (=0·43.14) на атомъ. Такимъ образомъ водородъ слѣдуетъ закону Дюлонга-

---

[1]) Переводъ съ англійскаго: *The Nadir of temperatur, and Allied Problems* Bakeerian Lecture by Jamees Dewar, Ll. D., D. Sc., F. R. S., Jacktonian Professor in the University of Cambridge, and Fullerian Professor of Chemistry, Royal Instution, London, Delivered June 13, 1901.

Нти и вблизи своей температуры замерзанія имѣетъ наибольшую удѣльную теплоту, чѣмъ какое-нибудь другое изъ извѣстныхъ тѣлъ.

Въ одной и той же капиллярной трубочкѣ вода, жидкій воздухъ и жидкій водородъ поднимаются на высоты въ 15·5, 2 и 5·5 дѣленій; слѣд. поверхностныя натяженія воды, жидкаго воздуха и жидкаго водорода относятся какъ 15·5 : 2 : 0·4; иными словами поверхностное натяженіе жидкаго водорода при температурѣ его кипѣнія лишь одна пятая поверхностнаго натяженія жидкаго воздуха при тѣхъ же условіяхъ; она не составляетъ 1/35 части поверхностнаго натяженія воды при обыкновенной температурѣ.

Показатель преломленія жидкаго водорода былъ опредѣленъ по относительному примѣненію фокуса, когда параллельный пучокъ лучей падалъ на сферическій сосудъ (съ пустыми стѣнками), наполняемый послѣдовательно водою, жидкимъ воздухомъ и жидкимъ водородомъ; этотъ показатель преломленія оказался равнымъ 1·12; теоретическое его значеніе 1·11. Отсюда видно, что водородъ равно какъ кислородъ и азотъ въ жидкомъ состояніи обладаютъ преломляющими способностями, согласными съ тѣми, которыя даетъ теорія.

2. Свободные водородъ, гелій и неонъ извлекаются изъ воздуха двумя способами. Одинъ основанъ на примѣненіи жидкаго водорода: изъ жидкаго воздуха, поддерживаемаго при температурѣ замерзанія азота, испаряютъ растворенные въ немъ газы. Другой способъ состоитъ въ томъ, чтобы улетучившіеся газы опять растворить; при этомъ оказывается, что 1/34000 часть объема воздуха обращается въ жидкость. Послѣдній способъ лишь качественный и служитъ для обнаруженія и выдѣленія части водорода въ воздухѣ. Въ прежней работѣ „О сжиженіи воздуха и опредѣленіи примѣсей было показано, что въ 100 cm³. жидкаго воздуха можетъ растворяться до 20 cm³. водорода. Анализъ показалъ, что газъ, выдѣленный изъ воздуха, состоитъ изъ водорода (38%), азота (8%), гелія, неона и т. д. (60%). По удаленіи водорода и азота, охлажденіемъ въ жидкомъ водородѣ неонъ замораживаютъ, а болѣе летучія части отдѣляются.

Въ воздухѣ имѣется газообразное вещество которое можетъ быть выдѣлено и безъ сжиженія воздуха. Для этой цѣли воздухъ надо пропустить чрезъ спиральную трубку, наполненную стеклянною ватою, которая смочена жидкимъ воздухомъ. Пропустивъ достаточное количество воздуха, изъ спирали, по-

груженной въ жидкій воздухъ, выкачиваютъ газъ; гейслеровская трубка съ такимъ газомъ даетъ линіи ксенона. Если въ описанномъ опытѣ воздухъ, проникающій чрезъ спиральную трубку, находится подъ столь малымъ давленіемъ, что онъ не сжижается, то вмѣстѣ съ ксенономъ отдѣляется и криптонъ.

3. Изслѣдованіе пятнадцати термометровъ—сопротивленій было доведено до температуры кипѣнія жидкаго водорода и результаты наблюденій приведены по способу Кэлленджа и Диксона. Самое низкое значеніе температуры кипѣнія водорода даетъ золотой термометръ, далѣе слѣдуетъ платиновый и серебрянный термометры; показанія мѣднаго и желѣзнаго термометровъ отличаются на 26° и 32° отъ показаній золотого. Золотой термометръ опредѣляетъ эту температуру кипѣнія въ 23·5° abs, тогда какъ газовый термометръ даетъ 20·5°. Очень замѣчательно какъ сильно уменьшается сопротивленіе нѣкоторыхъ металловъ при охлажденіи кипящимъ водородомъ; такъ мѣдь имѣетъ 1/105, золото 1/30, платина 1/35, серебро 1/24 и желѣзо 1/8 соотвѣтственнаго сопротивленія при 0°. Законъ, по которому измѣняется электрическое сопротивленіе съ температурою въ разсматриваемыхъ здѣсь предѣлахъ, неизвѣстенъ; поэтому ни на одинъ термометръ этого рода нельзя положиться, чтобы онъ въ точности показывалъ температуру вблизи кипѣнія водорода.

4. Гелій получался изъ газовъ королевскаго источника въ Батѣ; пропускаемый чрезъ *U*-образную трубку, погруженную въ жидкій водородъ, онъ очищался и затѣмъ имъ наполнялся піэзометръ Кальете, гдѣ онъ подвергался давленію въ 80$^{atm}$; часть же гелія отводилась въ узкую стеклянную трубку, погруженную въ жидкій водородъ; при быстромъ разрѣженіи до атмосфернаго давленія въ піэзометрѣ ясно былъ виденъ туманъ вслѣдствіе образованія тамъ твердыхъ тѣлецъ. Послѣ нѣсколькихъ сжатій и разрѣженій въ піэзометрѣ скоплялась небольшая масса твердаго тѣла, которое переходило непосредственно въ газъ, когда удаляли жидкій водородъ. Если затѣмъ разрѣженіемъ понизить температуру жидкаго водорода до его замерзанія т. е. до 16° abs. и разрѣдить газъ, изъ котораго прежде получалось твердое тѣло, то тумана не замѣчалось. Отсюда слѣдовало заключить, что туманъ образовывался не изъ гелія, а изъ какого-нибудь другого вещества, по всей вѣроятности изъ неона. Изъ опытовъ съ водородомъ, очищеннымъ также, какъ очищался гелій и помѣщенномъ въ томъ же приборѣ, оказывается, что туманъ въ водо-

родѣ можно видѣть (при тѣхъ же условіяхъ разрѣженія, какъ въ опытѣ съ геліемъ) только въ томъ случаѣ, если начальная температура разрѣжаемаго газа было только въ два раза выше критической, но тумана нельзя было наблюдать, если начальная температура была въ два съ половиною раза выше критической. Примѣняя это къ опыту съ геліемъ, приходимъ къ заключенію, что его критическая температура ниже 9° abs.

При своихъ опытахъ Ольшевскій разрѣжалъ гелій при температурѣ приблизительно въ семь разъ большей, чѣмъ критическая, и подъ давленіемъ 125 atm. Если даже принять, что начальная температура гелія была не выше 21° abs., то при адіабатномъ расширеніи въ 20 разъ его температура понизилась бы до 6·3° abs., а при расширеніи въ 10 разъ — до 8·3°. Можно думать, что въ дѣйствительности въ этихъ опытахъ гелій не охлаждался ниже 10° или 9°; никакого сжиженія гелія при этомъ не наблюдалось. Тутъ впрочемъ надо имѣть въ виду одно обстоятельство, а именно малую свѣтопреломляемость гелія, которая, какъ показалъ лордъ Релей, не составляетъ и 1/4 свѣтопреломляемости газообразнаго водорода; если свѣтопреломляемости жидкихъ гелія и водорода находятся въ томъ же отношеніи между собою (какъ это имѣетъ мѣсто для водорода и кислорода), то показатель преломленія жидкаго гелія при температурѣ его кипѣнія долженъ быть около 1·03 (такъ показатель преломленія водорода при соотвѣтственной температурѣ = 1·12); такимъ образомъ маленькія капельки жидкаго гелія вблизи критической температуры гораздо труднѣе видѣть, чѣмъ капельки водорода въ тѣхъ же условіяхъ.

Гелій, температура кипѣнія котораго, повидимому не выше 5° abs., надѣялись обратить въ жидкое состояніе, при помощи тѣхъ пріемовъ которые оказались успѣшными въ случаѣ водорода; только охлаждать гелій надо не жидкимъ воздухомъ, а жидкимъ водородомъ, находящимся подъ малымъ давленіемъ, и полученную жидкость думали сохранять въ трубкѣ съ пустыми стѣнками, окруженной жидкимъ водородомъ. Въ слѣдующей таблицѣ даны числа, полученныя изъ теоріи и опыта: въ столбцѣ *A* даны начальныя температуры газовъ, до которыхъ должны быть охлаждены, чтобы доступнымъ намъ разрѣженіемъ ихъ можно было охладить до теоретическихъ температуръ, указанныхъ въ столбцѣ *B*, и такимъ образомъ сжижить; наконецъ въ столбцѣ *C* даны температуры кипѣнія соотвѣтственныхъ жидкостей

| начальная температура | *A* | *B* | *C* |
|---|---|---|---|
| жидкій гелій (?) | 5° | 2° | 1° |
| твердый водородъ | 15 | 6 | 4 |
| жидкій " | 20 | 8 | 5 (*He*?) |
| " воздухъ (подъ мал. давл.) | 75 | 30 | 20 (*H*) |
| 52° Ц. | 325 | 130 | 86 (воздухъ) |
| красное каленіе | 760 | 304 | 195 ($CO_2$) |

Изъ этой таблицы видно, что примѣненіе жидкаго или твердаго водорода, какъ средства для начальнаго охлажденія, позволяетъ сжижить вещество, имѣющее критическую температуру отъ 6° до 8° abs. и температуру кипѣнія отъ 4° до 5° abs. Если бы имѣли жидкій гелій, температура кипѣнія котораго по всей вѣроятности около 5° abs, то и онъ не далъ бы намъ возможности достичь абсолютнаго нуля; для этого надо найти другой газъ, который былъ бы во столько разъ летуче гелія, во сколько этотъ послѣдній летуче водорода. Если группа гелія заключаетъ въ себѣ вещество, атомный вѣсъ котораго = 2 или половина атомнаго вѣса гелія, то этотъ газъ позволитъ намъ подойти ближе къ нашей цѣли. А пока сжиженіе гелія представляется настолько трудною задачею, что ученые еще долго будутъ ею заниматься.

5. Въ теченіе этихъ изслѣдованій было сдѣлано очень много наблюденій, изъ коихъ приведемъ нѣкоторыя. При охлажденіи до температуры кипѣнія водорода многія органическія тѣла пріобрѣтаютъ замѣчательно сильную способность фосфоресцировать, даже при слабомъ возбужденіи; ее и сравнивать нельзя съ тою способностью, которую тѣже тѣла пріобрѣтаютъ въ жидкомъ воздухѣ. Сѣрнистый цинкъ, охлажденный до 26° abs. и выставленный на свѣтъ, представляетъ блестящую фосфоресценцію, если его температуру постепенно повышать. Самосвѣтящіяся вещества, какъ радій, сохраняютъ свою способность безъ ослабленія, при охлажденіи жидкимъ водородомъ. Фотографическія дѣйствія еще имѣютъ мѣсто, хотя и слабѣе чѣмъ при температурѣ жидкаго воздуха. Нѣкоторые кристаллы, погруженные въ жидкій водородъ, дѣлаются на время самосвѣтящимися, вслѣдствіе электрическаго возбужденія, вызываемаго охлажденіемъ; подобныя явленія особенно хорошо наблюдаются въ ціанистыхъ соединеніяхъ платины и въ азотистыхъ соединеніяхъ урана. Даже охлаж-

деніе этихъ кристалловъ жидкимъ воздухомъ вызываетъ въ нихъ электрическія и свѣтовыя дѣйствія.

Если принять во вниманіе, что какъ жидкій водородъ, такъ и жидкій воздухъ суть сильно изолирующія жидкости, то происходящіе внутри нихъ электрическіе разряды доказываютъ, что охлажденіемъ вызывается очень высокій потенціалъ. Если кристалъ вынуть изъ охлаждающей жидкости, то при повышеніи его температуры электрическіе разряды вновь появляются. Кристалликъ азотистаго урана такъ сильно электризуется, что хотя его плотность 2·8, а жидкаго воздуха лишь 1, кристалликъ не тонетъ въ немъ, но прилипаетъ къ стѣнкамъ сосуда и надо сильно натянуть нить, къ которой привязанъ кристалликъ, чтобы его перемѣстить. Такой кристалликъ быстро устраняетъ всякую муть въ жидкомъ воздухѣ, притягивая къ себѣ всѣ взвѣшенныя частицы. Изученіе пироэлектричества при низкихъ температурахъ поведетъ къ рѣшенію очень важныхъ задачъ.

## О началѣ міра.

### Г. Пелла [1]).

Слѣдствія закона разсѣянія энергіи въ изолированной системѣ, указанныя В. Томсономъ и развитыя Гельмгольцомъ, всѣмъ хорошо извѣстны и сдѣлались классическими; но для пониманія послѣдующаго я позволю себѣ ихъ вкратцѣ напомнить.

Система, изъятая отъ всякаго внѣшняго вліянія, обладаетъ неизмѣннымъ количествомъ энергіи; но форма энергіи непрерывно измѣняется вслѣдствіе всякаго рода явленій, происходящихъ въ системѣ. Эти измѣненія совершаются по вполнѣ опредѣленному направленію, именно въ томъ, въ которомъ энтропія системы возрастаетъ, и стремятся приблизить систему къ конечному состоянію, въ которомъ вся энергія находится въ формѣ тепла содержащейся въ тѣлахъ одной температуры; въ такой системѣ

[1]) Réflexions au sujet de l' univers et des lois naturelles par *H. Pellat.* Professeur à la Faculté des Sciences de l' Université de Paris (Livre jubilaire dédié à H. A. Lorentz).

никакія трансформаціи энергіи не могутъ происходить и никакое явленіе не можетъ совершаться.

Вселенную, надо разсматривать какъ обширную систему, конечную относительно количества матеріи и слѣд. конечную относительно количества энергіи, какъ систему, на которую не дѣйствуютъ внѣшнія силы, ибо—согласно опредѣленію—въ матеріальномъ мірѣ нѣтъ ничего внѣшняго для такой системы; въ примѣненіи къ такой системѣ наши предыдущія разсужденія заставляютъ предусмотрѣть *кончину міра.*

Но взамѣнъ развитія слѣдствій разсѣянія энергіи и отыскиванія, что будетъ въ грядущіе вѣка, обратимъ свои мысли къ тому, что было въ прошломъ, опять таки считая вселенную конечною какъ относительно матеріи, такъ и относительно энергіи.

Такъ какъ съ теченіемъ времени энергія все менѣе и менѣе дифференцирована, а энтропія дѣлается все больше и больше, то, восходя по теченію времени, мы найдемъ во вселенной энергію все болѣе и болѣе дифференцированною, и энтропію все меньшею и меньшею. Но дифференціація энергіи и уменьшеніе энтропіи имѣетъ предѣлъ; ибо въ конечной системѣ энергія не можетъ быть дифференцирована до безконечности, и энтропія не можетъ уменьшаться далѣе извѣстнаго предѣла. Обозначимъ чрезъ $\alpha$ эпоху, въ которую энтропія имѣла свою наименьшую величину и замѣтимъ сейчасъ же, что эта эпоха $\alpha$ не можетъ быть безконечно удаленною отъ нашихъ дней, ибо въ противномъ случаѣ скорость разсѣянія энергіи или приращенія энтропіи стремилась бы къ нулю по мѣрѣ того, какъ мы станемъ разсматривать прошлыя эпохи все болѣе и болѣе удаленныя отъ насъ. Между тѣмъ въ дѣйствительности имѣетъ мѣсто какъ разъ обратное: здѣсь скорость разсѣянія можетъ лишь возрастать въ силу того, что энергія болѣе дифференцирована (чѣмъ различнѣе температуры, тѣмъ скорѣе переходитъ опредѣленное количество тепла изъ одного тѣла въ другое, чѣмъ больше кинетическая энергія, тѣмъ бо́льшая часть этой энергіи трансформируется въ теплоту вслѣдствіе тренія, ударовъ и т. д.). Тутъ мы должны остановиться. Ибо что́ происходило до этой эпохи? Съ одной стороны законъ разсѣянія энергіи требуетъ, чтобы тогда дифференціація энергіи была больше, т. е. чтобы энтропія было меньше, чѣмъ въ эпоху $\alpha$; съ другой стороны это невозможно, ибо въ эпоху $\alpha$ дифференціація энергіи достигла maximum, а энтропія — minimum. Выйти изъ такихъ противорѣчій можно только, принявъ: или—что до эпо-

хи и законъ разсѣянія энергіи (вытекающій изъ теперешняго порядка вещей) не существовалъ, т. е. что законы природы были измѣнены, что равносильно *началу міра*, или же—что вселенная безконечна по отношенію матеріи и энергіи, ибо наши разсужденія примѣнимы лишь къ конечной вселенной.

Теперь вернемся къ скорости измѣненія энтропіи. Намъ извѣстны системы богатыя химическою энергіею, которыя неопредѣленно долго остаются въ одномъ состояніи, пока небольшое количество тепла, приведенное извнѣ, или ударъ не опредѣлитъ химическихъ реакцій и не вызоветъ превращенія энергіи; таковы боченокъ съ порохомъ или торпеда. Можно-ли — для избѣжанія указанныхъ противорѣчій—представлять себѣ, что первоначально вселенная была устроена на подобіе этихъ системъ, и что система оставалась безжизненною, пока въ эпоху, отдаленную отъ насъ конечнымъ промежуткомъ времени, не произошелъ толчекъ, положившій начало цѣлаго ряда превращеній, которыя мы наблюдаемъ и теперь? По крайней мѣрѣ нужно было бы представить себѣ нѣсколько системъ подобнаго рода, обладающихъ движеніемъ, и что сначала нѣкоторыя изъ этихъ системъ безконечно удалены другъ отъ друга, иначе толчекъ произошелъ бы въ безконечно удаленную эпоху. Кромѣ того, чтобы ударъ не былъ безконечно слабымъ, надо принять, что эти системы были въ безконечномъ множествѣ и наполняли безконечное пространство. Такимъ образомъ мы приходимъ къ указаннымъ выше заключеніямъ.

Итакъ для вселенной безконечность во времени влечетъ за собою безконечность въ пространствѣ; если вселенная конечна въ матеріи и энергіи, то она была создана; по крайней мѣрѣ законы природы были измѣнены въ эпоху, отдѣленную отъ нашихъ дней конечнымъ промежуткомъ времени.

---

## Съѣздъ преподавателей физики С.-Петербургскаго учебнаго округа 2—10 Января 1902 г.

Ф. Н. Индриксона.

По иниціативѣ Г. Попечителя С.-Петербургскаго учебнаго округа въ С.-Петербургѣ 2—10 Января былъ устроенъ съѣздъ преподавателей физики. Цѣль этого съѣзда всестороннее ознакомленіе съ приборами, которые служатъ для демонстрированія опытовъ на урокахъ физики въ средней школѣ, и разсмотрѣніе вопросовъ о нормальномъ распредѣленіи курса физики по классамъ, о практическихъ занятіяхъ учащихся и др. Завѣдывалъ съѣздомъ проф. О. Д. Хвольсонъ, дѣятельное участіе въ съѣздѣ принимали проф. И. И. Боргманъ, проф. А. И. Садовскій и приватъ-доцентъ В. В. Лермантовъ; демонстрировали приборы и давали соотвѣтствующія разъясненія преподаватели: П. С. Дрентельнъ, К. В. Дубровскій, Я. И. Ковальскій, В. Ю. Кольбе, В. Л. Розенбергъ и лаборанты Физическаго Института А. А. Добіашъ и Ф. Н. Индриксонъ. При демонстрированіи опытовъ пользовались приборами, которые были выставлены во 2-мъ этажѣ Физическаго Института С.-Петербургскаго Университета слѣдующими фирмами: Рихтеръ въ С.-Петербургѣ, Max Kohl въ Хемницѣ, Фр. Гугерсгофъ въ Лейпцигѣ и Ф. Эрнеке въ Берлинѣ. Кромѣ этихъ фирмъ были выставлены приборы Физическимъ Институтомъ, механикомъ Института В. Л. Франценомъ, Б. Ю. Кольбе, Я. И. Ковальскимъ, В. Л. Розенбергомъ, К. В. Дубровскимъ, фирмою Цейсъ, фирмою Гартманъ и Браунъ, фирмою Фосъ въ Варшавѣ и Пашковскимъ.

2-го Января въ 1 часъ дня Г. Попечителемъ С.-Петербургскаго Учебнаго Округа былъ открытъ съѣздъ преподавателей физики. При открытіи съѣзда Г. Попечитель обратился къ собравшимся гг. преподавателямъ съ рѣчью, въ которой цѣлью съѣзда поставилъ во 1-хъ ознакомленіе съ научными новостями и во 2-хъ ознакомленіе съ наилучшими приборами и умѣнье демонстриро-

вать опыты; кромѣ того гг. преподаватели на съѣздѣ могутъ обмѣняться мыслями относительно методики преподаванія физики въ средней школѣ. До сихъ поръ общенія между преподавателями не было, но теперь, когда будутъ ежегодно устраиваться съѣзды преподавателей различныхъ предметовъ, это возможно, такъ какъ каждый преподаватель разъ въ три года будетъ пріѣзжать на съѣздъ.

Проф. О. Д. Хвольсонъ обратился къ присутствующимъ со слѣдующею рѣчью:

Мм. Гг.! Его Превосходительство г. Попечитель С.-Петербургскаго Учебнаго Округа изволилъ поручить мнѣ обратиться къ компетентнымъ лицамъ и вмѣстѣ съ ними устроить Съѣздъ преподавателей физики С.-Петербургскаго Учебнаго Округа. Впослѣдствіи г. Попечитель расширилъ мою задачу, дозволивъ мнѣ записывать въ члены Съѣзда во 1-хъ также и учительницъ физики, которыхъ я съ особеннымъ удовольствіемъ привѣтствую въ нашей средѣ, во 2-хъ учителей физики другихъ округовъ, и наконецъ также нѣкоторыхъ лицъ, не служащихъ въ Вѣдомствѣ Министерства Народнаго Просвѣщенія.

Я считаю долгомъ подробнѣе остановиться на задачахъ и цѣляхъ нашего Съѣзда.

Вопросъ о правильной постановкѣ преподаванія физики въ нашихъ среднихъ учебныхъ заведеніяхъ, какъ извѣстно, весьма сложный и многосторонній; онъ распадается на множество отдѣльныхъ весьма разнообразныхъ вопросовъ. Въ виду краткости времени, находящагося въ нашемъ распоряженіи, было бы неблагоразумно посвятить это время всѣмъ вопросамъ, разсмотрѣнію всѣхъ сторонъ преподаванія физики въ среднихъ учебныхъ заведеніяхъ. Мы рисковали бы не разобрать какъ слѣдуетъ ни одного изъ вопросовъ. Пришлось остановиться на одномъ вопросѣ, наиболѣе важномъ, ему посвятить какъ можно болѣе времени, оставивъ немного времени для разбора нѣкоторыхъ другихъ вопросовъ, подробною разработкой которыхъ займутся слѣдующіе съѣзды, надѣюсь, въ скоромъ времени.

По указанію Его Превосходительства былъ выбранъ вопросъ о показываніи опытовъ на урокахъ физики, и ему мы посвятимъ бо́льшую часть нашего времени.

Мм. Гг.! Безсмертный геній Фарадей, бюстъ котораго Вы видите, навсегда установилъ значеніе эксперимента, какъ основы, какъ краеугольнаго камня нашей науки, и нѣтъ сомнѣнія,

что въ средней школѣ на урокахъ физики показываніе опытовъ должно лежать въ основѣ преподаванія, которое безъ этой основы должно быть признано безполезнымъ и даже вреднымъ, какъ могущее вызвать ложныя представленія о физическихъ явленіяхъ, о степени ихъ простоты или сложности и т. д. Всякій согласится, что далеко не во всѣхъ нашихъ среднихъ учебныхъ заведеніяхъ опытная часть преподаванія физики поставлена удовлетворительно. О причинахъ такого явленія мы поговоримъ на одномъ изъ нашихъ засѣданій и мы съ большимъ интересомъ ждемъ то, что Вы намъ разскажете. Одна изъ причинъ ясна: это та незавидная роль, которую до сихъ поръ играла физика между другими предметами въ средней школѣ. Число уроковъ мало; въ VIII классѣ гимназій не было экзамена; не было помѣщенія, удобнаго класса; не отпускались средства. Но времена измѣнились. Теперь можно и въ средней школѣ поставить физику на подобающее ей мѣсто, и я смѣю сказать, что въ С.-Петербургскомъ Округѣ всякое въ этомъ направленіи ходатайство, въ предѣлахъ возможнаго, встрѣтитъ сочувствіе со стороны Его Превосходительства Г. Попечителя Учебнаго Округа.

Какъ я уже сказалъ, мы, Мм. Гг., посвятимъ наши занятія главнымъ образомъ всему тому, что относится къ показыванію опытовъ на урокахъ физики. Достигнуть этой цѣли намъ поможетъ выставка физическихъ приборовъ, устроенная во второмъ этажѣ этого Института.

На выставкѣ будете имѣть возможность осмотрѣть приборы, узнать цѣны, получить каталоги. Но одного осматриванія выставки мало; необходимо видѣть приборъ въ дѣйствіи и испробовать его самому. Этому и будутъ посвящены всѣ утреннія занятія Съѣзда. — Далѣе ораторъ благодарилъ лицъ, принявшихъ участіе въ устройствѣ съѣзда. — Но такъ какъ приборовъ выставлено много и всѣхъ ихъ поэтому демонстрировать невозможно, то мы обращаемся къ Вамъ съ просьбою самимъ выбрать приборы, съ которыми Вы желали бы ознакомиться поподробнѣе.

Я старался выяснить характеръ предстоящихъ занятій. Мы разсчитываемъ на Вашу широкую помощь не только при указаніи и выборкѣ приборовъ, но и при ихъ демонстраціи. Мы всѣ будемъ другъ другу сообщать результаты, такъ сказать, преподавательской опытности, будемъ вмѣстѣ учиться. „Труды" Съѣзда будутъ заключаться въ совокупности записныхъ книжекъ или

тетрадей, которыя наполнятся указаніями на приборы, ихъ свойства, цѣны и т. д.

Дай Богъ, чтобы Вы, разставаясь съ нами, нашли, что Вы не напрасно потеряли время; дай Богъ, чтобы наши занятія имѣли результатомъ разцвѣтъ физическихъ кабинетовъ въ средней школѣ и постановку на надлежащее мѣсто преподаванія дорогой намъ науки — физики.

Послѣ этого члены Съѣзда осматривали выставку и зданіе Физическаго Института.

Распредѣленіе занятій съѣзда было такое: отъ 10 ч. до 12 ч. дня демонстрація приборовъ, днемъ отъ $1^1/_2$ до 3 ч. посѣщеніе I Реальнаго училища, Александровскаго кадетскаго корпуса или спеціальныя демонстраціи приборовъ гг. Розенберга, Дубровскаго, Кольбе и Ковальскаго, отъ 3 — 4 ч. В. В. Лермантовъ читалъ лекціи объ исправленіи приборовъ и обращеніи съ ними, вечеромъ съ 7 час. читались доклады и обсуждались разные вопросы. Исключеніе составлялъ вечеръ 8-го Января: Профессоръ И. И. Боргманъ прочелъ 2 лекціи „Жидкій воздухъ" и „Радіоактивность". На этихъ лекціяхъ были продемонстрированы опыты съ жидкимъ воздухомъ и радіоактивными веществами.

## I. Вечернія засѣданія.

*5 Января.* Я. И. Ковальскій дѣлаетъ докладъ „О желательномъ соотношеніи между объемомъ учебнаго матеріала и временемъ, необходимымъ для его усвоенія".

Докладчикъ старается выяснить причины жалобъ на преподаваніе физики и неудачи преподавателей этого предмета. Такими причинами являются:

1) преподаватели желаютъ сообщить ученикамъ возможно больше знаній, которыя послѣднія не могутъ усвоить. Очень часто останавливаются на мелочахъ.

2) Рѣзкій переходъ учениковъ отъ занятія однимъ предметомъ къ занятію другимъ. По мнѣнію докладчика, короткіе промежутки отдыха ученика между уроками мѣшаютъ сразу же приняться за дѣло; на I и IV урокѣ (послѣ $^1/_2$ час. отдыха) можно въ классѣ сразу же заниматься, на другихъ урокахъ необходимо принимать въ расчетъ утомленіе учениковъ и въ началѣ урока не предлагать сложныхъ вопросовъ.

3) Преподаватели при прохожденіи курса не обращаютъ вниманія на то, что ученики не всѣ одинаково скоро усваиваютъ

сообщенныя знанія и часто къ одному и тому же выводу приходятъ различными путями. Для того чтобы узнать, хорошо ли усвоено данное явленіе, необходимо частое спрашиваніе учениковъ; надо постепенно учить ученика привыкать мыслить отвлеченно, такъ какъ отвлеченно мыслить сразу онъ не можетъ, его понятіе о рычагѣ, напримѣръ, неизбѣжно сначала будетъ совпадать съ понятіемъ о мѣдномъ стержнѣ прибора, на которомъ демонстрируютъ законы рычага. Вести занятія надо постепенно и вначалѣ придется проходить курсъ медленно, а затѣмъ ускорять вмѣстѣ съ развитіемъ умѣнія учащихся вдумываться; кромѣ того надо обращать вниманіе на силы даннаго плана. Затѣмъ докладчикъ указываетъ на недостатокъ учебниковъ: въ учебникахъ очень часто вмѣсто описанія явленія приводится описаніе прибора, между тѣмъ какъ необходимо всегда изучать явленія, а не приборы; понятно, можно сообщать свѣдѣнія и о приборахъ, если найдется свободное время, но это изученіе не можетъ замѣнить изученіе явленія. Кромѣ того во всѣхъ учебникахъ нѣтъ связи, нѣкоторые вопросы изложены разрозненно, такъ напримѣръ, о центробѣжной силѣ говорится во многихъ мѣстахъ курса, также и о перемѣнѣ состоянія тѣлъ. Нѣкоторые преподаватели, желая изложить понятнѣе какой-нибудь вопросъ, заставляютъ учениковъ составлять записки, но ученики не привыкли составлять конспекты, въ своихъ тетрадяхъ записываютъ невѣрно; докладчикъ совѣтуетъ въ такихъ случаяхъ давать на руки ученикамъ литографированные записки. Разбирая затѣмъ время, назначенное на прохожденіе курса, докладчикъ приходитъ къ заключенію, что необходимо возможно больше останавливаться на главномъ, вопросы второстепенные необходимо совершенно не разсматривать: лучше пусть будетъ короче программа, но пусть ученики хорошенько усвоятъ необходимое изъ курса.

Послѣ доклада дѣлаютъ замѣчанія: Ф. П. Индриксонъ находитъ, что ученики легко будутъ понимать явленія только въ томъ случаѣ, если будутъ введены практическія занятія. Курсъ VI класса механики труденъ для учениковъ, и ученики постоянно при изученіи рычага будутъ воображать, что вся суть въ стержнѣ прибора, на которомъ показываютъ законы рычага. Ясное представленіе о силѣ ученики могутъ составить только въ VIII классѣ, когда они уже болѣе ознакомлены съ физическими явленіями.

Г. Желѣзнякъ находитъ, что необходимо все-таки давать

больше матеріала, надъ которымъ ученикъ могъ бы поработать: вѣдь если мало матеріала, то не надъ чѣмъ и работать. Надо научить ученика мыслить образно—недостатокъ школы и заключается въ томъ, что она не пріучаетъ ученика мыслить образно, а это самое важное въ физикѣ. Затѣмъ, обращаясь къ вопросу объ усвоеніяхъ ученикомъ матеріала, г. Желѣзнякъ находитъ, что зимою при занятіяхъ ученикъ не успѣваетъ разобраться въ сообщаемомъ ему, лѣтомъ же необходимо, чтобы ученикъ отдыхалъ, вслѣдствіе чего нѣтъ времени для полнаго обдумыванія явленія, поэтому необходимо установить minimum программы.

Я. И. Ковальскій отвѣчаетъ, что важно дать возможность ученику мыслить безъ помощи учителя—это можно сдѣлать, не договаривая чего-либо и заставляя ученика разобраться въ явленіи. *Научить* мыслить нельзя.

---

Собраніе приступаетъ къ разрѣшенію вопроса объ ассигновкѣ на физическій кабинетъ.

О. Д. Хвольсонъ сообщаетъ высказанныя уже предположенія, что для ремонта и пополненія хорошаго кабинета необходимо ассигновать ежегодно 300 руб., для неудовлетворительнаго — 500—600 руб. и для вновь устраиваемаго кабинета необходима ассигновка 4000 руб. въ 3 года, послѣ же затраты 3000 руб. на кабинетъ, ассигнуется ежегодно 500—600 руб.

Г. Павловъ находитъ, что есть приборы, которые стоятъ гораздо дороже 300 руб., слѣдовательно „удовлетворительный" кабинетъ не будетъ въ состояніи ихъ пріобрѣсти. Кромѣ того необходимо покупать посуду и другія мелочи; затѣмъ въ провинціи нѣтъ механика, который могъ бы починить приборъ, поэтому приходится для починки приборъ посылать въ Москву или Петербургъ, а пересылка требуетъ затратъ. Необходимо поэтому ассигновку увеличить до 500 руб.

А. И. Садовскій находитъ, что надо различать провинцію и Петербургъ, для Петербургскихъ гимназій можно было бы ассигновать меньше, чѣмъ для провинціи.

Послѣ возраженій со стороны нѣкоторыхъ гг. членовъ Собраніе постановило, что необходима ассигновка для удовлетворительнаго кабинета 500 руб., не различая провинціи отъ Петербурга.

Перейдя къ вопросу объ ассигновкѣ на неудовлетворитель-

ный кабинетъ и принимая во вниманіе, что по нормальному списку приборовъ для устроенія кабинета требуется на 7 тысячъ рублей, Собраніе пришло къ заключенію, что для неудовлетворительнаго кабинета необходима ассигновка въ 700 руб. Что же касается до вновь устраиваемаго кабинета, то для такого необходимо ассигновать $6^1/_2$ до 7 тысячъ руб. на приборы единовременно и ежегодно 500 руб.

Нѣкоторые изъ гг. членовъ предлагаютъ Собранію вопросъ, входятъ ли въ эту ассигновку устройство класса для уроковъ физики, покупка шкафовъ, столовъ и проч. Собраніе рѣшаетъ, что на эту сумму должны быть пріобрѣтаемы *исключительно* приборы, на устройство же класса и закупку мебели должна быть особая ассигновка.

Рѣшается вопросъ объ устройствѣ класса для уроковъ физики и физическаго кабинета. Основными положеніями устанавливаются: классъ долженъ быть отдѣльно отъ кабинета, гдѣ хранятся приборы, и долженъ быть снабженъ всѣмъ необходимымъ: столомъ для опытовъ, экраномъ, должны быть проведены въ этотъ классъ газъ, вода и электрическій токъ; скамейки для учениковъ должны быть устроены амфитеатромъ; классъ могъ бы быть затемненъ. Въ кабинетѣ должны быть всевозможные слесарные и столярные инструменты, токарный и слесарный станокъ и т. д. При кабинетѣ и классѣ полагается особый служитель. Такъ какъ почти всѣ опыты требуютъ особой подготовки, то въ физическомъ классѣ не должны происходить *никакіе* другіе уроки кромѣ физики. Классъ, кабинетъ и служитель находятся всецѣло въ вѣдѣніи преподавателя физики, который и отвѣчаетъ за сохранность физическихъ приборовъ. Необходимо кромѣ того для починки приборовъ нанимать или приглашать временно особаго механика. Для справокъ въ физическій кабинетъ должны быть пріобрѣтаемы различные книги по физикѣ, которыя хранятся въ кабинетѣ, а не сдаются въ библіотеку.

Считая, что преподаватели физики должны подготовлять опытъ къ урокамъ, Собраніе полагаетъ, что преподавателю физики кромѣ платы за недѣльный урокъ, необходимо выдавать еще добавочное вознагражденіе за приготовленіе опытовъ къ урокамъ физики по 45 руб. въ годъ за каждый недѣльный урокъ физики.

Разсматривая вопросъ о пріобрѣтеніи приборовъ, Собраніе находитъ, что нѣкоторые приборы изготовляются *только* за гра-

ницей, цѣны очень многихъ приборовъ заграницей гораздо меньше, чѣмъ цѣны у русскихъ фирмъ и очень часто марки и франки по каталогамъ дѣлаются равными русскимъ рублямъ. Считая поэтому выписку приборовъ изъ заграницы необходимой, Собраніе рѣшаетъ ходатайствовать о безпошлинной выпискѣ приборовъ изъ заграницы и объ облегченіи таможенныхъ формальностей при этой выпискѣ.

*7 Января.*

Стеклодувъ г. Майкранцъ демонстрируетъ разные работы на паяльномъ столѣ.

А. А. Добіашъ демонстрируетъ эпидіаскопъ фирмы Цейсса въ Іенѣ для проэктированія прозрачныхъ и непрозрачныхъ предметовъ.

Г. Павловъ сообщаетъ объ устройствѣ физическаго кабинета въ Вологодскомъ реальномъ училищѣ.

Обсуждается вопросъ о концентрическомъ преподаваніи физики.

Я. И. Ковальскій находитъ, что для физики желателенъ неполный концентрическій курсъ, необходимо познакомить въ V классѣ съ главными явленіями изъ разныхъ отдѣловъ физики, а въ VI и VII классахъ долженъ быть систематическій курсъ.

А. И. Садовскій возражаетъ, что по многимъ другимъ предметамъ нѣтъ концентровъ. Необходимо проходить систематически курсъ физики, такъ какъ при концентрическомъ курсѣ при переходѣ учениковъ къ другому преподавателю (въ случаѣ ухода преподавателя) будутъ встрѣчаться большія затрудненія.

Ф. Н. Индриксонъ находитъ, что въ V классѣ учениковъ надо знакомить съ явленіями и показывать возможно больше опытовъ, необходимо дать имъ возможность освоиться съ предметомъ; преподаваніе можно вести систематически, но все трудное должно быть оставляемо на другіе классы.

Г. Цинзерлингъ находитъ, что концентрическое преподаваніе имѣетъ смыслъ, если предметъ преподается и въ младшихъ и въ старшихъ классахъ. Лучше проходить трудные отдѣлы при повтореніи въ VII классѣ.

О. Д. Хвольсонъ находитъ, что едва-ли возможны при 9 урокахъ 2 полныхъ концентра. При такомъ числѣ уроковъ лучше проходить курсъ систематически, оставляя трудное на VII классъ.

А. И. Садовскій находитъ, что необходимо въ V и VI клас-

сахъ оставлять трудные вопросы безъ разсмотрѣнія и разсматривать ихъ въ VII классѣ, причемъ понятно въ V классѣ такихъ оставленныхъ вопросовъ будетъ много, а въ VI гораздо меньше, такъ какъ они будутъ уменьшаться сообразно навыку ученика разбираться въ явленіяхъ.

Собраніе рѣшаетъ проходить курсъ систематически, причемъ наиболѣе трудные вопросы программы откладывать до VII класса.

Обсуждается вопросъ о распредѣленіи уроковъ по классамъ и разсматриваются слѣдующія три комбинаціи.

| | V кл. | VI кл. | VII кл. |
|---|---|---|---|
| 1) | 3 ур. | 3 ур. | 3 ур. |
| 2) | 2 ур. | 4 ур. | 3 ур. |
| 3) | 2 ур. | 3 ур. | 4 ур. |

Г. Павловъ полагаетъ, что можно избрать 2-ю комбинацію, такъ какъ для основныхъ понятій въ V кл. достаточно 2 уроковъ, въ VI же классѣ ученики болѣе знакомы съ математикою и поэтому можно будетъ не ограничиваться только описаніемъ явленій, а и примѣнять формулы; въ VII классѣ достаточно 3 уроковъ.

А. И. Садовскій высказывается противъ 2-го и 3-го предположеній: ученикамъ трудно будетъ справиться съ матеріаломъ въ томъ классѣ, гдѣ 4 урока въ недѣлю, если же еще ввести выводъ различныхъ формулъ, то, навѣрное, ученики хорошо не усвоятъ явленій, такъ какъ ученику трудно уловить связь между формулою и явленіемъ. Вообще необходимо избѣгать введенія математики въ курсѣ элементарной физики.

О. Д. Хвольсонъ полагаетъ, что 4 урока въ недѣлю это не большое число уроковъ.

Г. Павловъ обращаетъ вниманіе на реальныя училища, гдѣ при 4 урокахъ въ классѣ никакого неудобства замѣчено не было, а физика въ реальныхъ училищахъ поставлена не плохо.

А. А. Добіашъ соглашается съ тѣмъ, что 4 урока могутъ дать много матеріалу, съ которымъ ученики не справятся, но 2 урока изъ 4 можно посвятить практическимъ занятіямъ.

О. Д. Хвольсонъ замѣчаетъ, что практическія занятія будутъ происходить отдѣльно отъ уроковъ.

А. И. Садовскій ссылается на то, что по математикѣ есть 4 урока въ недѣлю, но эти 4 урока дѣлятся между 2 предметами: алгеброю и геометріею, предметами между собой не связан-

ными, а въ урокахъ физики сдѣлать этого нельзя. Что касается реальныхъ училищъ, то отъ нихъ надо ожидать очень многаго.

Г. Нечаевъ стоитъ за 2-ю комбинацію, такъ какъ, по его мнѣнію, матеріала разучивать не придется много, ибо преподаватель долженъ показывать опыты и поэтому въ продолженіе урока многаго объяснить не будетъ въ состояніи

Г. Цытовичъ стоитъ за 3-ю комбинацію, ибо ученикамъ легче заниматься, когда они освоились съ предметомъ.

Г. Ковальскій соглашается съ А. И. Садовскимъ, замѣчая, что въ V классѣ ученики начинаютъ физику, надо дать имъ навыкъ, познакомить съ явленіями, пріучить вдумываться, показать побольше опытовъ, а поэтому 2 уроковъ недостаточно, надо 3 урока, въ VI и VII классахъ тоже по 3.

Г. Нечаевъ возражаетъ, что ученики будутъ подготовлены, такъ какъ въ VI классѣ будетъ проходиться химія.

Г. Барсиковъ замѣчаетъ что необходимо остановиться на 2-ой комбинаціи, ибо въ V классѣ большихъ знаній сообщить нельзя, а весь трудный матеріалъ необходимо перенести въ VI классъ.

Послѣ этого вопросъ подвергается голосованію: 24 голоса подается за 1-ю комбинацію, 12 за 2-ю и 4 за 3-ю.

*9 января.*

Обсуждается вопросъ о распредѣленіи курса физики по классамъ. Разсматривается предположенная программа:

V классъ. Общія свойства тѣлъ. Силы, простыя машины. Тяготѣніе и тяжесть. Твердыя, жидкія тѣла и газы. Звукъ.

VI классъ. Теплота. Магнитизмъ. Электричество.

VII классъ. Оптика. Ученіе о движеніи. Ученіе объ энергіи. Повтореніе курса.

Многіе изъ членовъ находили желательнымъ измѣнить распредѣленіе курса: было высказано между прочимъ мнѣніе, что слѣдуетъ ученіе объ магнитизмѣ и электричествѣ перенести въ последній (VII) классъ; нѣкоторые находили, что надо проходить механику въ V классѣ. Предложенія были отвергнуты большинствомъ присутствующихъ. Мотивы къ этому были: трудность прохожденія курса механики въ V классѣ и неудобство проходить въ послѣднемъ классѣ ученіе о магнитизмѣ и электричествѣ. Это неудобство заключается въ томъ, что въ послѣднемъ классѣ ученики постоянно бываютъ заняты повтореніями по дру-

гимъ предметамъ, а въ ученіи объ электричествѣ желательно сообщать побольше свѣдѣній для ознакомленія съ примѣненіемъ электрическаго тока. Такъ какъ обсужденіе этого вопроса во всей полнотѣ потребовало бы много времени, Собраніе остановилось на этой предположенной программѣ и послѣ преній приняло вышеприведенное распредѣленіе курса по классамъ съ оговоркою, что ученіе о звукѣ проходится или въ V или въ VI классахъ, смотря по успѣшности даннаго класса.

Обсуждается вопросъ о рѣшеніи задачъ на урокахъ физики.

Собраніе единогласно выражаетъ пожеланіе, чтобы рѣшались задачи по физикѣ, но только при условіи, чтобы эти задачи не являлись упражненіемъ въ математическихъ вычисленіяхъ. Собраніе единогласно выражаетъ мнѣніе, что безъ рѣшенія задачъ не можетъ быть усвоенъ курсъ физики: *задачи необходимы.*

Собраніе приступаетъ къ рѣшенію вопроса о практическихъ занятіяхъ.

О. Д. Хвольсонъ сообщаетъ, что на Собраніи присутствуетъ преподаватель Маріупольской мужской гимназіи М. И. Кустовскій, который ведетъ со своими учениками практическія занятія, и обращается съ просьбою къ г. Кустовскому сдѣлать сообщеніе о веденіи этихъ занятій.

М. И. Кустовскій сообщаетъ о практическихъ занятіяхъ учениковъ Маріупольской гимназіи. Для занятій ученики каждаго класса были раздѣлены на 4 группы; въ одинъ день занимались 2 первыя группы всѣхъ классовъ, въ другой день вторыя группы всѣхъ классовъ и т. д. Кромѣ того каждая группа (20 чел.) была разбита на 2 смѣны (по 10 чел.): 1-я смѣна занималась отъ 6 ч.—8 ч. веч., 2-я отъ 8 ч.—10 ч. вечера, такимъ образомъ 1 разъ въ 2 недѣли каждый ученикъ участвовалъ въ практическихъ занятіяхъ. Такъ какъ день занятій каждому ученику былъ извѣстенъ заранѣе, то ученикъ могъ распорядиться временемъ такъ, что другіе уроки отъ этого не страдали. Занятія были сдѣланы обязательными, но не были для учениковъ обременительными, наоборотъ всѣ ученики охотно занимались и между ними замѣчалось соревнованіе, кто лучше исполнитъ данную работу. Несмотря на малое время (каждый ученикъ занимался 2 часа въ 2 недѣли), ученики даже VI класса исполнили каждый 15 работъ. Что касается обстановки для занятій, то обстановка простая: обыкновенные столы (не парты) и вѣнскіе стулья; около каждаго стола занимались по 2 человѣка; та же самая комната служила

и для уроковъ физики. Приборы для работъ служатъ вмѣстѣ съ тѣмъ и для показыванія опытовъ на урокахъ. Расходы на занятія учениковъ въ годъ составляютъ около 150 руб.

По просьбѣ Собранія М. И. Кустовскій сообщаетъ слѣдующій списокъ работъ для учениковъ:

VI классъ.

1) Измѣреніе длины стержня. 2) Взвѣшиваніе. 3) Опредѣленіе объема тѣла мензуркою, вычисленіемъ и взвѣшиваніемъ. 4) Удѣльный вѣсъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ по способу пикнометра или полнаго сосуда. 5) Вычисленіе діаметра цилиндрической трубки, недоступной измѣренію (въ трубку до нѣкоторой высоты наливалась вода, и трубка съ водою уравновѣшивалась; затѣмъ наливается еще воды въ эту трубку на нѣкоторую высоту $h$, которую измѣряютъ; опредѣляется вѣсъ долитой воды, и вычисляется радіусъ трубки). 6) Сложеніе силъ, дѣйствующихъ на точку подъ угломъ (пружинными вѣсами). 7) Сложеніе параллельныхъ силъ (пружинные вѣсы). 8) Опредѣленіе центра тяжести разныхъ фигуръ подвѣшиваніемъ и опредѣленіе центра тяжести молотка. 9) Рычаги. Вѣсы. 10) Вычисленіе давленія жидкости на дно сосуда опытомъ и наблюденіемъ. 11) Законъ Архимеда. 12 и 13) Опредѣленіе удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ (тяжелыхъ и легкихъ) гидростатическимъ взвѣшиваніемъ. 14) Опредѣленіе удѣльнаго вѣса жидкихъ тѣлъ гидростатическимъ взвѣшиваніемъ. 15) Опредѣленіе удѣльнаго вѣса жидкостей по способу сообщающихся сосудовъ. 16) Тоже по способу колоннъ (чрезъ трубку всасывается двѣ разныхъ жидкости изъ 2 сосудовъ и по высотѣ поднятія опредѣляется удѣльный вѣсъ). 17) Опредѣленіе вѣса воздуха различными способами. 18) Повѣрка закона Бойль-Маріотта (оба случая). 19) Опыты по химіи.

VII классъ.

1) Повѣрка точекъ 0° и 100° у термометра. 2) Опредѣленіе теплоемкости калориметра. 3 Опредѣленіе теплоемкости тѣла. 4) Скрытая теплота таянія льда. 5) Скрытая теплота кипѣнія (приборъ Брикса). 6) Упругость паровъ, насыщающихъ и ненасыщающихъ пространство, при разныхъ температурахъ. 7) Опыты съ паровой машиной. 8) Гигрометрія (гигрометры Реньо и Даніеля). 9) Приготовленіе магнитныхъ спектровъ (для закрѣпленія на стеклѣ полученные спектры изъ пульверизатора обрызгиваются краскою съ гуммиарабикомъ). 10) Электростатическая ин-

дукція (приборъ Рисса, цилиндръ Фарадея). 11) Конденсація электричества. 12) Составленіе основныхъ элементовъ (Даніеля, Бунзена и друг.) и опредѣленіе сопротивленія ихъ при помощи вольтметра и амперметра. 13) Законъ сопротивленія проволокъ. 14) Сравненіе электровозбудительныхъ силъ (способъ большихъ сопротивленій). 15) Законъ Джауля. 16) Электромагнитизмъ (подъемная сила и проч.). 17) Дѣйствіе токовъ на токи. 18) Индукція токовъ токами и магнитами. 19) Опыты съ динамомашинами и моторами.

VIII классъ.

1) Законы колебанія струнъ (вліяніе длины струны). 2) Скорость звука въ воздухѣ (камертонъ и мензурка). 3) Фотометрія (фотометры Румфорда и Уитстона). 4) Законы отраженія свѣта отъ плоскаго зеркала и законы изображенія точки и предмета (плоское зеркало ставится перпендикулярно на листъ бумаги; передъ зеркаломъ на бумагѣ ставятъ точку, затѣмъ на бумагѣ линіею отмѣчаютъ положеніе полированной стороны зеркала и проводятъ при помощи линейки 2 линіи, которыя пересѣклись бы въ мѣстѣ изображенія точки; снимаютъ зеркало, продолжаютъ начерченныя прямыя до пересѣченія и измѣряютъ разстояніе полученной точки отъ данной и отъ зеркала; то же построеніе и для предмета). 5) Повѣрка формулы сферическихъ зеркалъ и увеличенія $G = F/(D - F)$. 6) Повѣрка той же формулы для мнимаго фокуса (способъ тотъ, что и для плоскаго зеркала; зеркаломъ въ данномъ случаѣ служитъ согнутый листъ жести или мѣдная кружка). 7) Законы преломленія свѣта. 8) Повѣрка законовъ разстоянія и изображенія въ сферическихъ стеклахъ. 9) Призмы и спектральный анализъ. 10) Блоки, воротъ, полиспастъ, зубчатыя колеса. 10) Наклонная плоскость, клинъ. 12) Опыты съ машиною Атвуда (законъ разстояній, законъ скоростей). 13) Повѣрка формулы $f = mv$ на машинѣ Атвуда.

Собраніе благодаритъ М. И. Кустовскаго за его интересное сообщеніе.

Приступая къ рѣшенію вопроса о практическихъ занятіяхъ, Собраніе находитъ введеніе ихъ желательнымъ во всѣхъ учебныхъ заведеніяхъ и выражаетъ пожеланіе, чтобы на веденіе ихъ была назначена особая ассигновка. Классъ долженъ быть приспособленъ не только для уроковъ, но и для практическихъ занятій учащихся. За веденіе практическихъ занятій преподавате-

лю полагается особое вознагражденіе. Для практическихъ занятій желательно назначать внѣклассное время.

Возбуждаются вопросы: 1) считать-ли обязательнымъ введеніе практическихъ занятій во всѣхъ учебныхъ заведеніяхъ или же представить это усмотрѣнію самихъ учебныхъ заведеній и 2) въ случаѣ введенія практическихъ занятій обязательны-ли они для всѣхъ учениковъ или же заниматься будутъ только тѣ ученики, которые пожелаютъ.

Принимая во вниманіе, что практическія занятія необходимы для усвоенія курса физики и яснаго представленія явленій, Собраніе считаетъ необходимымъ введеніе практическихъ занятій по физикѣ въ средней школѣ при условіи, чтобы на практическія занятія были даны средства, и чтобы преподаватели получали за веденіе ихъ особое вознагражденіе. Относительно второго вопроса высказываютъ мнѣнія:

А. А. Червенъ-Вадали: Для учениковъ нельзя дѣлать практическія занятія обязательными, такъ какъ въ многолюдныхъ гимназіяхъ у ученика въ году будетъ около 6 часовъ практическихъ занятій, между тѣмъ какъ для того, чтобы ученикъ привыкъ къ нимъ, надо потратить часа 2—3; затѣмъ, что считать обязательнымъ: работу или присутствіе ученика? Если присутствіе, то не желающіе заниматься будутъ мѣшать желающимъ.

Г. Цытовичъ: Практика показываетъ, что обязательныя занятія вызываютъ нежеланіе учениковъ заниматься; поэтому практическія занятія должны быть необязательными.

Высказываются желанія сдѣлать для учениковъ практическія занятія обязательными, такъ какъ работы будутъ носить скорѣе качественный характеръ, а потому для учениковъ не будутъ трудны.

А. И. Садовскій находитъ, что дѣло новое и нежелательно дѣлать его обязательнымъ, такъ какъ тѣ ученики, которые пожелаютъ заниматься, будутъ стараться хорошенько сдѣлать работу, не желающіе же заниматься, при обязательности занятій, будутъ мѣшать.

Ф. Н. Индриксонъ высказывается за необязательность практическихъ занятій для учениковъ, и находитъ, что, если вводить практическія занятія, то во всѣхъ классахъ, такъ какъ необходимо будетъ постепенно пріучать учениковъ къ занятіямъ, начиная съ простого переходить къ болѣе серьезному, а для этого необходимо много времени, а не 6—10 часовъ въ годъ для каж-

даго ученика. Сначала самое простое взвѣшиваніе отнимаетъ много времени у ученика; ему необходимо привыкнуть заниматься.

В. Ю. Кольбе замѣчаетъ, что обязательными нельзя дѣлать практическія занятія уже потому, что многіе ученики не будутъ въ состояніи на нихъ ходить вслѣдствіе большого разстоянія дома отъ школы.

Г. Сазоновъ находитъ, что принципіально вопросъ рѣшить трудно: для изученія физики практическія занятія необходимы, слѣдовательно, они должны быть обязательны; но, переходя къ практикѣ, придется отказаться отъ обязательности ихъ для учениковъ.

Г. Нечаевъ предлагаетъ поставить условную обязательность: каждый ученикъ въ 3 года долженъ сдѣлать нѣсколько назначенныхъ опытовъ.

Собраніе большинствомъ голосовъ рѣшаетъ, что практическія занятія необязательны и устраиваются для желающихъ учениковъ.

Ставится вопросъ о вознагражденіи преподавателя за веденіе практическихъ занятій.

А. И. Садовскій находитъ, что вознагражденіе должно быть не меньше, если не больше, чѣмъ за уроки, такъ какъ преподавателю придется много времени потратить на приготовленіе и исправленіе приборовъ для практическихъ занятій.

Собраніе приходитъ къ заключенію, что практическихъ занятій въ недѣлю устроить необходимо 6 часовъ (3 вечера по 2 ч.), причемъ каждый часъ изъ этихъ 6 часовъ оплачивается какъ недѣльный урокъ физики (105 руб. въ годъ).

Разсматривается вопросъ о затрудненіяхъ при преподаваніи и объ учебникахъ.

Высказывается пожеланіе, чтобы физическіе кабинеты были устроены лучше и чтобы давались средства для пріобрѣтенія приборовъ и устройства практическихъ занятій. Что касается учебниковъ, то они не должны содержать лишняго матеріала, но съ другой стороны нежелательно, чтобы учебники были конспектами. Собраніе признаетъ лучшимъ учебникомъ учебникъ Краевича „Сокращенный курсъ физики" (обработанный А. Л. Гершуномъ и В. В. Скобельцынымъ). Встрѣчается затрудненіе при введеніи новаго учебника въ учебныхъ заведеніяхъ съ пансіонами, гдѣ пансіонерамъ не пріобрѣтаютъ новыхъ книгъ, пока старые не отслужатъ положеннаго срока. Кромѣ того высказывает-

ся пожеланіе, чтобы въ журналахъ, посвященныхъ вопросамъ физики, былъ отдѣлъ, гдѣ помѣщались бы различные опыты для класснаго преподаванія.

(Окончаніе слѣдуетъ).

## Физическій кабинетъ.

6) *Осмотическое давленіе раствора* легко демонстрировать слѣдующимъ образомъ. Въ стаканъ наливаютъ слабый растворъ желтой кровяной соли, въ который бросаютъ кусочекъ хлорнаго желѣза; послѣдній опускается на дно и покрывается коллоидальною пленкою берлинской лазури, которая полупроницаема—пропускаетъ воду, но не пропускаетъ ни хлорнаго желѣза, ни ціанистаго калія. Вода, проникнувъ чрезъ пленку и прикоснувшись къ хлорному желѣзу, образуетъ растворъ, который своимъ осмотическимъ давленіемъ расширяетъ пленку и чрезъ нее проникаетъ новая порція воды; растворяется новая часть хлорнаго желѣза и т. д.; изъ кристаллика выростаетъ зеленоватаго цвѣта пузырь, расширяющійся кверху и постоянно увеличивающійся въ размѣрахъ.

7) *Калильныя лампочки, какъ сопротивленія.* При провѣркѣ закона Ома и въ нѣкоторыхъ другихъ случаяхъ удобно пользоваться калильными лампочками въ качествѣ сопротивленій. Для соображеній ниже приведена таблица приблизительныхъ сопротивленій лампочекъ (въ холодномъ состояніи) наиболѣе употребительныхъ напряженій (лампочки Сименса и Гальске: 5-свѣчная въ 4 уатта, 50 св. въ 3 уа. и остальныя въ 3·5 уа. на свѣчу).

| Лампочки | 5, | 10, | 16, | 25, | 30, | 50 свѣчей |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 65 volt | — | — | 135 | — | — | 70 Ohms |
| 110 „ | 1000, | 550, | 420, | 280, | 200, | 160 „ |
| 220 „ | — | 1800, | 1600, | 900, | 800, | 550 „ |

(Варшава, А. Трусевичъ).